



TESIS TE-142599

**Deteksi Dini Kerusakan Minyak Transformator Daya
Distribusi Berbasis Analisis Fitur Spektrum Arus
Menggunakan Transformasi *Wavelet* & *Probabilistic Neural
Networks***

Wisnu Kuntjoro Adi
2211201705

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, MEng.

Ardyono Priyadi, ST, M.Eng, Dr.Eng

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA



TESIS TE-142599

**Deteksi Dini Kerusakan Minyak Transformator Daya
Distribusi Berbasis Analisis Fitur Spektrum Arus
Menggunakan Transformasi *Wavelet* & *Probabilistic Neural
Networks***

Wisnu Kuntjoro Adi
2211201705

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, MEng.

Ardyono Priyadi, ST, M.Eng, Dr.Eng

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

**DETEKSI DINI KERUSAKAN MINYAK TRANSFORMATOR DAYA
DISTRIBUSI BERBASIS ANALISIS FITUR SPEKTRUM ARUS
MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET & PROBABILISTIC
NEURAL NETWORKS**

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

WISNU KUNTJORO ADI
NRP. 2211201705

Tanggal Ujian : 13 Januari 2015
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui Oleh Tim Penguji Tesis :

1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. (Pembimbing I)
195809161986011001
2. Dr. Eng. Ardyono Privadi, ST., M.Eng. (Pembimbing II)
197309271998031004
3. Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT. (Penguji)
196603181990101001
4. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D., MT. (Penguji)
197311192000031001
5. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. (Penguji)
197007121998021001

Direktur Program Pascasarjana



Prof. H. Dhanar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NRP. 196612021987011001

**Deteksi Dini Kerusakan Minyak Transformator Daya Distribusi
Berbasis Analisis Fitur Spektrum Arus
Menggunakan Transformasi Wavelet & Probabilistic Neural Networks**

Nama Mahasiswa : Wisnu Kuntjoro Adi
NRP : 2211201705
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
2. Dr. Eng Ardyono Priyadi, M. Eng, ST.

ABSTRAK

Kerusakan transformator adalah salah satu hal yang dari banyak masalah yang sering terjadi. Kerusakan transformator distribusi banyak disebabkan karena banyak hal, salah satunya karena umur. Petugas PT. PLN (persero) sejauh ini tidak dapat memonitoring kondisi transformator yang sudah dipasang di ruas jalan. Metode konvensional yang dilakukan oleh petugas PT. PLN (persero) masih dapat dikatakan tidak efektif dan memakan waktu yang lama. Metode-metode konvensional yang dilakukan oleh PLN dengan cara pengambilan sampel minyak untuk diuji kualitasnya menimbulkan berbagai masalah diantaranya pengambilan sampel minyak dapat membuat minyak di dalam transformator terkontaminasi oksigen dan uap air dan juga perlu dilakukan pengisian ulang yang tentunya akan berakibat sama. Metode baru untuk mendeteksi dini kerusakan transformator daya dengan menggunakan fitur spektrum arus menggunakan transformasi wavelet dan PNN adalah salah satu metode yang diusulkan untuk mengatasi masalah bagi petugas PT. PLN (Persero). PNN telah terbukti dapat mengklasifikasikan transformator sesuai dengan umurnya berdasarkan nilai energi dan PSD yang didapat dari metode wavelet.

Kata kunci : monitoring transformator, *wavelet*, energi, PSD, PNN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Early Detection of Power Distribution Transformer Oil Damage
Based Current Spectrum Analysis Features
Using Wavelet Transform and Probabilistic Neural Networks**

Student Name : Wisnu Kuntjoro Adi
NRP : 2211201705
Preceptor : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
2. Dr. Eng Ardyono Priyadi, M. Eng, ST.

ABSTRACT

Transformer damage is one of many problems that often occurs. Distribution transformer damage caused by many things, one of them is aging. So far, PT PLN (Persero) staff is not able to monitor the condition of the transformer that has been installed on roads. Conventional methods done by PT. PLN (Persero) staff are still ineffective and taking a long time. The methods were done by taking oil samples for quality test could cause various problems such as transformer oil contaminated with oxygen and water vapor. A new method for early detecting the power transformer damage is using current spectrum feature with wavelet transform and PNN. This method is one of methods that is proposed to solve the PT PLN staff's problem. PNN has been proved for classifying a transformer according to transformer's age based on energy value and PSD which are obtained from wavelet method.

Key word : transformer monitoring, wavelet, energy, PSD, PNN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Kontribusi dan Originalitas Penelitian	2

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Transformator	4
2.1.1 Transformator Distribusi	4
2.1.2 Prinsip Kerja	5
2.2. <i>Wavelet</i>	8
2.2.1 Transformasi <i>Wavelet</i>	9
2.2.2 Jenis-jenis <i>wavelet</i>	11
2.3 <i>Probabilistic Neural Networks</i> (PNN)	13

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.1.1 Arus Transformator Primer dan Sekunder	17
3.1.2 Transformasi <i>Wavelet</i>	17
3.1.3 Ekstraksi Fitur	18
3.1.4 Pelatihan PNN	18
3.2 Penelitian Lapangan	20
3.3 Pengambilan Data	21
3.4 Menentukan Fitur Data	21
3.5 Hasil Pengukuran	22

BAB 4 SIMULASI SISTEM DAN ANALISIS DATA

4.1 Pengambilan Data	24
4.2 Fast Fourier Transform (FFT)	31
4.2 Transformasi <i>Wavelet</i>	33
4.3 PNN	38
4.4 Akurasi Data	40

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	44
5.2 Penelitian Berikutnya	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konstruksi Transformator Distribusi.	5
Gambar 2.2. Rangkaian Transformator Sederhana	5
Gambar 2.3. Transformator Distribusi 3 <i>Phasa</i>	7
Gambar 2.4. <i>Winding Transformator</i> Distribusi 3 <i>Phasa</i>	7
Gambar 2.5. Sebuah <i>wave</i> dan <i>wavelet</i>	9
Gambar 2.6. Proses dekomposisi <i>wavelet</i>	9
Gambar 2.7. <i>Wavelet tree decomposition with three-detail levels</i>	10
Gambar 2.8. Range frekuensi untuk sinyal detail dan approximation.	11
Gambar 2.9. Jenis-jenis wavelet.	12
Gambar 2.10. Arsitektur jaringan syaraf probabilistik.	14
Gambar 3.1. Diagram Alir Deteksi Hubung Singkat	20
Gambar 3.2. Diagram Rangkaian Penelitian.....	21
Gambar 3.3. Struktur Identifikasi	22
Gambar 3.4. Spektrum Arus Sekunder Phasa T	22
Gambar 3.5. Koefisien Detil Spektrum Arus	23
Gambar 3.6. Nilai Absolut Koefisien Detil	23
Gambar 4.1. Bentuk Sinyal Tegangan pada Transformator berumur 0 tahun	26
Gambar 4.2. Bentuk Sinyal Arus pada Transformator berumur 0 tahun	26
Gambar 4.3. Bentuk Sinyal Tegangan pada Transformator berumur 1 tahun	28
Gambar 4.4. Bentuk Sinyal Arus pada Transformator berumur 1 tahun	28
Gambar 4.5. Bentuk sinyal tegangan pada transformator berumur 2 tahun	29
Gambar 4.6. Bentuk Sinyal Arus pada Transformator berumur 2 tahun	30
Gambar 4.7. Bentuk sinyal tegangan pada transformator berumur 3 tahun	31
Gambar 4.8. Bentuk sinyal arus pada transformator berumur 3 tahun	31
Gambar 4.9. Contoh pengubahan sinyal dalam domain frekuensi	32
Gambar 4.10. Proses sinyal input berupa arus pada transformator 0 tahun.....	33
Gambar 4.11. Proses sinyal input berupa arus pada transformator 1 tahun.....	34
Gambar 4.12. Proses sinyal input berupa arus pada transformator 2 tahun	34
Gambar 4.13. Proses sinyal input berupa arus pada transformator 3 tahun.....	35
Gambar 4.14. Nilai Energi	37
Gambar 4.15. Nilai PSD	38
Gambar 4.16. Hasil training klasifikasi transformator	39
Gambar 4.17. Hasil klasifikasi menggunakan data lapangan	40

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil data pada transformator dengan umur 0 tahun	25
Tabel 4.2 Hasil data pada transformator dengan umur 1 tahun	27
Tabel 4.3 Hasil data pada transformator dengan umur 2 tahun	29
Tabel 4.4 Hasil data pada transformator dengan umur 3 tahun	30
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Energi dan PSD	35
Tabel 4.6 Data lapangan dari PT PLN (Persero) Area Mojokerto	41
Tabel 4.7 Perbandingan hasil program dengan data lapangan	42

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berdasarkan data analisa kerusakan transformator PT PLN (Persero) Area Mojokerto tahun 2011 kejadian kerusakan transformator 75% diakibatkan oleh kerusakan pada kumparan primer sedangkan sisanya pada kumparan sekunder. Kerusakan kumparan primer disebabkan oleh hubung singkat antara belitan atau hubung singkat belitan dengan bodi transformator dimana 72% nya diakibatkan oleh penurunan isolasi minyak transformator. Penurunan isolasi minyak transformator pada umumnya disebabkan oleh pemanasan yang lebih sehingga mempercepat oksidasi pada minyak transformator, minyak tranformator bercampur dengan oksigen bahkan air dari luar karena *packing* yang longgar dan minyak terkena tekanan dielektrik akibat tegangan lebih sehingga minyak hangus. Gejala hubung singkat akibat kerusakan minyak perlu dideteksi dini sehingga dapat dilakukan pencegahan dengan mengganti minyak transformator atau melakukan *oil treatment* agar kualitas minyak menjadi lebih baik kembali. Kerusakan transformator harus dihindarkan agar tidak terjadi pemadaman listrik kepada pelanggan.

Metode-metode konvensional untuk melakukan uji kualitas minyak transformator yang dilakukan oleh PLN dengan cara pengambilan sampel minyak secara langsung dari pipa *drain* transformator menimbulkan berbagai masalah diantaranya pengambilan sampel minyak dapat membuat minyak di dalam transformator terkontaminasi oksigen dan uap air. Pengisian ulang minyak pengganti juga akan berakibat sama. Transformator produksi mulai tahun 2008 didisain dengan jenis *hermatically sealed* sehingga pengambilan sampel minyak dan penambahan tidak diperbolehkan lagi. Kondisi ini tentunya membuat pengambilan sampel minyak tidak dapat dilakukan lagi sehingga dibutuhkan metode lain untuk mendeteksi kerusakan minyak transformator.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi kombinasi metode *wavelet* dan *probabilistic neural networks* dapat mengidentifikasi kerusakan minyak transformator melalui spektrum arus pada kumparan primer maupun sekunder.

1.3. Batasan Masalah

Beberapa asumsi dan batasan yang diambil pada penelitian ini adalah :

1. Transformator yang digunakan dengan kapasitas 100 kVA tegangan 20 kV/400V tiga fasa dan berumur 0 tahun, 1 tahun, 2 tahun dan 3 tahun.
2. Harmonisa yang dianalisa adalah harmonisa yang berasal dari beban sekunder transformator.
3. Gangguan yang berasal dari luar transformator dianggap tidak ada.

1.4 . Kontribusi dan Originalitas Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi sebagai berikut :

1. Menjadi referensi adanya metode baru yaitu kombinasi transformasi *wavelet* dan PNN untuk mendeteksi dini hubung singkat pada transformator akibat kerusakan minyak transformator.
2. Menjadi alat bantu bagi PLN untuk mengidentifikasi dengan mudah dan cepat gejala kerusakan minyak transformator tanpa harus menguji minyak secara laboratorium.
3. Metode deteksi dini yang diusulkan mampu mengidentifikasi kerusakan minyak transformator lebih akurat dan aman dibandingkan dengan cara-cara konvensional yang selama ini dilakukan PLN.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Kondisi minyak transformator di PT PLN (Persero) APJ Mojokerto tidak dipantau secara rutin mengingat keterbatasan alat uji minyak dan kurangnya personil untuk memantaunya. Beberapa parameter yang menandakan bahwa minyak transformator masih baik dan sesuai standar diantaranya dari warna minyak jernih dan tidak hitam/gelap, kuat medan listrik antara 12 kV/mm sampai dengan 16 kV/mm, kelembaban antara 10 sampai dengan 25 ppm, *interfacial tension* antara 22 sampai dengan 28 mN/m dan *resistivity* antara 0,2 sampai dengan 3 GΩ.m [1]. Keterbatasan peralatan uji laboratorium di PT PLN (Persero) APJ Mojokerto membuat semua parameter tersebut tidak dapat dilakukan pengetesan hanya warna dan kuat medan listrik yang dapat diketahui. Jumlah transformator distribusi yang dari waktu ke waktu semakin banyak mencapai lebih dari seribu di satu Rayon per kabupaten menyebabkan pengetesan seperti standar sulit dilakukan terkendala dengan biaya personil, biaya dan keterbatasan peralatan uji minyak.

Metode baru untuk mendeteksi awal kerusakan transformator dilakukan dengan mengenali terjadinya *internal short circuit* dengan parameter diambil dari terminal transformator berupa arus dan tegangan baik sisi primer maupun sekunder [2]. Karen L. Buler-Purry et al melakukan pengujian terhadap transformator 1 fasa daya 25 kVA tipe transformator kering dengan tegangan pengenal 7200V/240V/120V frekuensi 60 Hz dengan pembebanan yang bervariasi menyimpulkan bahwa jika sebuah *internal short circuit* terjadi pada gulungan primer maka arus utama primer akan cenderung meningkat seiring dengan jumlah lapisan belitan yang mengalami *short circuit* dengan kata lain semakin banyak lapisan belitan yang mengalami *short circuit* maka arus primer menjadi semakin besar. Namun tegangan sekunder dan arus sekunder tidak mengalami perubahan. Ketika kegagalan terjadi pada belitan sekunder, arus primer akan meningkat tergantung jumlah lapisan belitan yang mengalami short circuit. Kekurangan dari metode ini kurang dapat diaplikasikan di Indonesia mengingat mayoritas transformator di Indonesia bertipe *oil immersed transformer*, metode ini akan dikembangkan dengan penelitian terhadap transformator 3 fasa daya 100 kVA tegangan pengenal 20000V/400V frekuensi 50 Hz. Berdasarkan parameter arus pada terminal transformator sisi primer dan sekunder dilakukan analisa untuk menginvestigasi *short circuit* yang diakibatkan oleh kondisi minyak transformator yang kondisinya kurang baik. Metode ini diharapkan dapat melakukan investigasi kelayakan kondisi minyak transformator tanpa melakukan pengujian kualitas minyak secara laboratorium sehingga dapat diimplementasikan

secara efektif dan efisien terhadap semua transformator distribusi yang terdapat di lapangan yang jumlahnya mencapai ribuan buah.

Pengidentifikasian kejadian hubung singkat pada minyak transformator perlu diidentifikasi secara cepat dan akurat. Metode yang digunakan antara lain adalah menggunakan *Neural Network* (NN) untuk mengidentifikasi hubung singkat secara langsung [3]. Pemodelan transformator terhadap kejadian hubung singkat dilakukan dengan pemetaan input-output antara parameter transformator atau informasi kesalahan dengan tegangan dan arus dari terminal. H Wang memadukan dua jenis NN yaitu BPFN (*back-propagation feed-forward network*) dan RBFN (*radial basis function network*), kedua metode cocok diterapkan dan dapat memberikan perkiraan yang akurat untuk fungsi pemetaan input-output antara parameter kesalahan pada transformator dengan tegangan dan arus terminal jika pelatihan dengan kasus yang banyak.

2.1. Transformator

Transformator adalah peralatan pada tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya dengan frekuensi yang sama. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

2.1.1 Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan salah satu komponen penting dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen dan mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah. Konstruksi transformator distribusi pada umumnya seperti terlihat pada gambar 2.1.

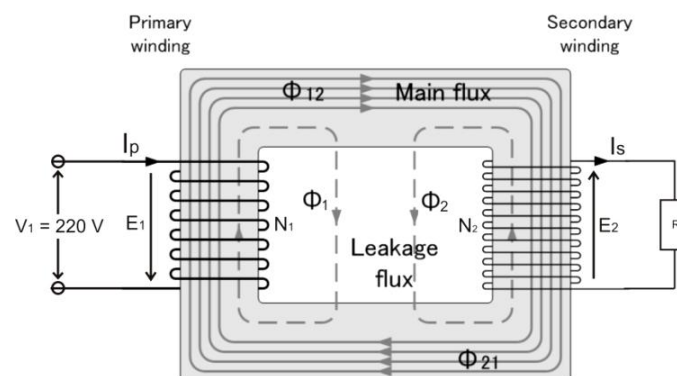


Gambar 2.1. Konstruksi Transformator Distribusi

Transformator distribusi ini digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan menengah menjadi tegangan rendah (*step down transformer*), dari tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 380 Volt atau 220 Volt.

2.1.2 Prinsip Kerja

Transformator terdiri atas dua buah kumparan, yaitu primer dan sekunder yang bersifat induktif. Rangkaian sederhana transformator dapat dilihat pada gambar 2.2 dimana bagian kumparan primer dan sekunder dihubungkan oleh inti besi.



Gambar 2.2. Rangkaian Transformator Sederhana

Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 sinusoidal atau AC, maka akan mengalir arus primer I_p yang sinusoidal karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup. Arus primer I_p menghasilkan fluks (Φ) AC di dalam inti yang dilaminasi.

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t \dots\dots\dots (2.1)$$

Akibat adanya fluks (Φ) di kumparan primer, maka terjadi induksi sendiri (*self induction*). Fluks yang sinusoidal tersebut akan menghasilkan tegangan induksi E_1 (Hukum Faraday).

$$E_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$E_1 = -N_1 \frac{d(\Phi_{\max} \sin \omega t)}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

Maka harga efektifnya,

$$E_1 = \frac{N_1 \cdot 2\pi f \cdot \Phi_{\max}}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_{\max} \dots\dots\dots (2.4)$$

Terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh dari induksi kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*). Induksi tersebut menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus di sekunder jika rangkaian sekunder terhubung ke beban.

$$E_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$E_2 = -N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{\max} \cdot \cos \omega t \dots\dots\dots (2.6)$$

Maka harga efektifnya,

$$E_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \Phi_{\max} \dots\dots\dots (2.7)$$

Sehingga,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = a \dots\dots\dots (2.8)$$

a = rasio/perbandingan transformator.

Pada dasarnya semua jenis transformator memiliki bagian utama yang terdiri dari inti besi yang dililit oleh 2 buah kumparan penghantar, yaitu kumparan sisi primer dan kumparan sisi sekunder. Bagian utama sebuah transformator terdiri dari inti besi, kumparan dan minyak transformator. Pada bagian luar transformator terdapat *bushing* dari kumparan primer maupun sekunder seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Transformator Distribusi 3 *Phasa*

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi terbuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas sebagai rugi-rugi besi yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.

Kumparan transformator terdiri dari beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Umumnya pada transformator terdapat kumparan primer dan sekunder seperti terlihat pada gambar 2.4. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi dapat dikatakan kumparan berfungsi sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



Gambar 2.4. *Winding Transformator* Distribusi 3 *Phasa*

Sebagian besar transformator tenaga kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak transformator, terutama transformator-transformator tenaga yang berkapasitas

besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai media pemindah panas (*disirkulasi*) dan bersifat pula sebagai isolasi karena memiliki daya tegangan tembus yang tinggi, sehingga minyak transformator berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Untuk itu minyak transformator harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

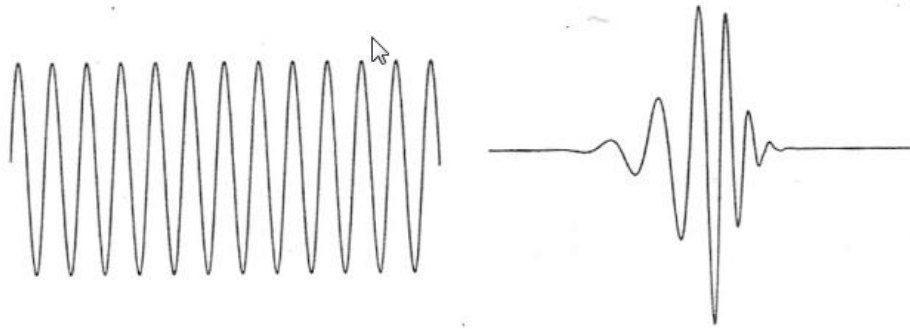
- Kekuatan isolasi tinggi
- Penyalur panas yang baik, berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat
- *Viskositas* yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik
- Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan
- Tidak merusak bahan isolasi padat
- Sifat kimia yang stabil.

Nilai arus primer dan sekunder diharapkan dapat menyampaikan informasi yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya gejala kerusakan minyak transformator. Inilah yang mendasari dilakukannya penelitian guna mendeteksi dini kerusakan minyak transformator yang bertujuan untuk mencegah kerusakan transformator yang tentunya akan menyebabkan pemadaman.

2.2 Wavelet

Wave didefinisikan sebagai sebuah waktu yang bergerak (*oscillating*), seperti kurva sinus. *Wave* mengembangkan sinyal ataupun fungsi dalam bentuk kurva sinus yang telah terbukti sangat berguna untuk matematika, ilmu pengetahuan, teknik mesin terutama untuk fenomena periodik atau stationer. *Wavelet* adalah sebuah *wave* kecil, dimana energinya terkonsentrasi dalam waktu sebagai alat bantu analisis fenomena kesementaraan, non-stationer atau perubahan waktu. Karakteristik *wave* masih tetap dimiliki, namun juga dapat mensimulasikan analisis waktu-frekwensi dengan dasar matematika yang fleksibel [7].

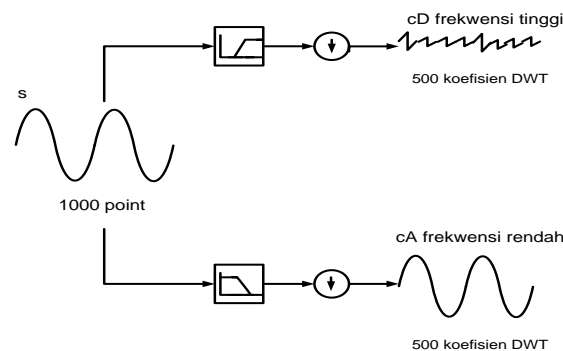
Hal ini diilustrasikan dalam gambar 2.5 dimana *wave* (kurva sinus) bergerak dengan amplitude sama pada $-\infty \leq t \leq \infty$ dan maka dari itu memiliki energi yang tak berhingga, dengan *wavelet* yang memiliki energi berhingga terkonsentrasi pada suatu titik.



Gambar 2.5 Sebuah *wave* dan *wavelet* [8]

2.2.1 Transformasi Wavelet

Transformasi wavelet dalam pengolahan sinyal, adalah sebuah metode untuk mendekomposisi sinyal input yang diinginkan menjadi gelombang lain yang disebut *wavelet*. *Transformasi wavelet* ini, memiliki kemampuan untuk menganalisis suatu data dalam domain waktu dan domain frekuensi secara simultan. Dibawah ini merupakan gambar dekomposisi sinyal *wavelet*.



Gambar 2.6 Proses dekomposisi *wavelet*

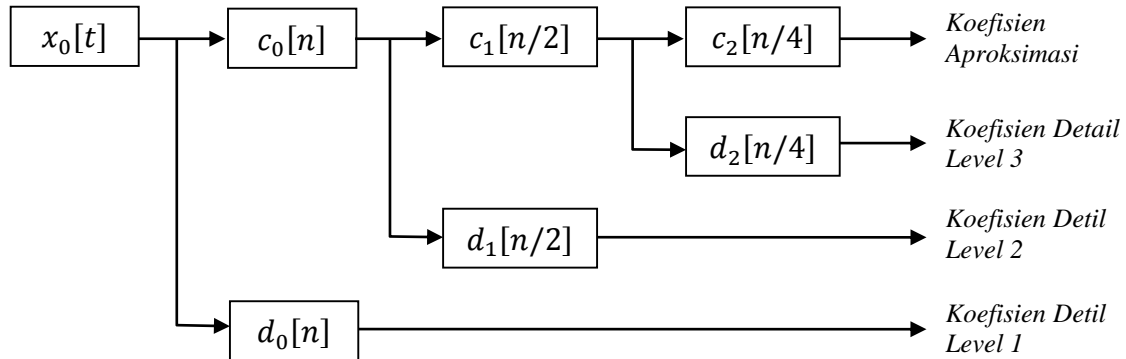
Analisis data pada transformasi *wavelet*, dilakukan dengan mendekomposisikan suatu sinyal ke dalam komponen-komponen frekuensi yang berbeda-beda. Selanjutnya, masing-masing komponen frekuensi tersebut dapat dianalisis sesuai dengan skala resolusinya atau level dekomposisinya. Hal ini seperti proses *filtering*, dimana sinyal dalam domain waktu dilewatkan ke dalam *High Pass Filter* dan *Low Pass Filter*. *High Pass Filter* dan *Low Pass Filter* ini untuk memisahkan komponen frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Pada dasarnya, transformasi *wavelet* dapat dibedakan menjadi dua tipe, berdasarkan nilai parameter translasi dan dilatasinya. Yaitu *Continue Wavelet Transform (CWT)* dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)*. *Transformasi wavelet continue*, ditentukan oleh nilai parameter dilatasi dan translasi yang bervariasi secara kontinu, dimana $a, b \in \mathbb{R}$ dan $a \neq 0$. *Continue Wavelet Transform*

(CWT) menganalisis sinyal dengan perubahan skala pada *window* yang dianalisis, pergeseran *window* dalam waktu dan perkalian sinyal serta mengintegral semuanya sepanjang waktu.

Discrete wavelet transform (DWT) ini dalam implementasinya lebih sederhana, dibandingkan dengan *continue wavelet transform (CWT)*. Dimana prinsip dasarnya adalah, bagaimana cara mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal, menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi subsampling. Implementasi sinyal diskrit bisa dilihat pada persamaan 2.9.

$$x[n] = \sum_k a_{j_0,k} \phi_{j_0,k}[n] + \sum_{j=j_0}^{j-1} \sum_k d_{j,k} \phi_{j,k}[n] \dots\dots\dots (2.9)$$

- $\phi[n]$ = Fungsi skala
- $\phi[n]$ = Wavelet induk
- $\phi_{j_0,k}[n] = 2^{j_0/2} \phi(2^{j_0}n - k)$ = Fungsi skala dari $s = 2^{j_0}$
- $k, \phi_{j_0,k}[n] = 2^{j/2} \phi(2^j n - k)$ = Wavelet induk skala dari $s = 2^j$
- $d_{j,k}$ = koefisien detail skala dari $s = 2^{j_0}$ dan $s = 2^j$
- N = Nomor sampel dari $x[n]$

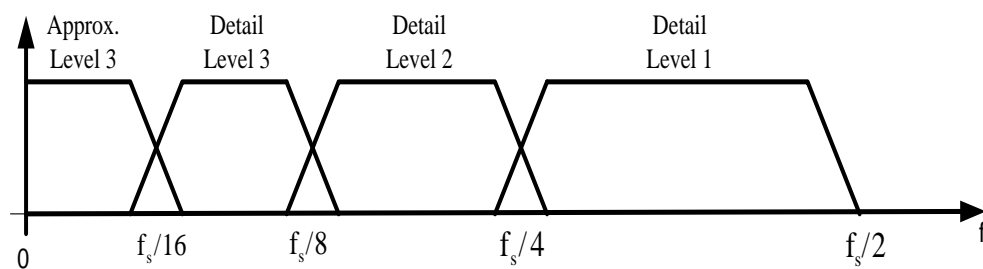


Gambar 2.7 Wavelet tree decomposition with three-detail levels.

Pada gambar 2.7, awalnya sinyal dilewatkan di *filter high pass* dan *low pass*. Setengah dari masing-masing hasilnya diambil untuk jadi sample melalui operasi *sub-sampling*, proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari *filter low-pass* digunakan sebagai masukan di proses *dekomposisi* tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan. Gabungan dari keluaran-keluaran *filter high-*

pass dan satu keluaran *filter low pass* yang terakhir, disebut *koefisien wavelet*. *Koefisien wavelet* berisi informasi sinyal hasil transformasi yang telah terkompresi.

Perubahan sinyal terdistorsi menjadi skala waktu-frekuensi yang berbeda dengan menggunakan fungsi *wavelet* φ dan fungsi skala ϕ . Fungsi *wavelet* φ akan menghasilkan komponen-komponen frekuensi tinggi (komponen detail) dari sinyal yang didekomposisi dan fungsi skala ϕ akan menghasilkan komponen-komponen frekuensi rendah (komponen aproksimasi) dari sinyal yang didekomposisi.



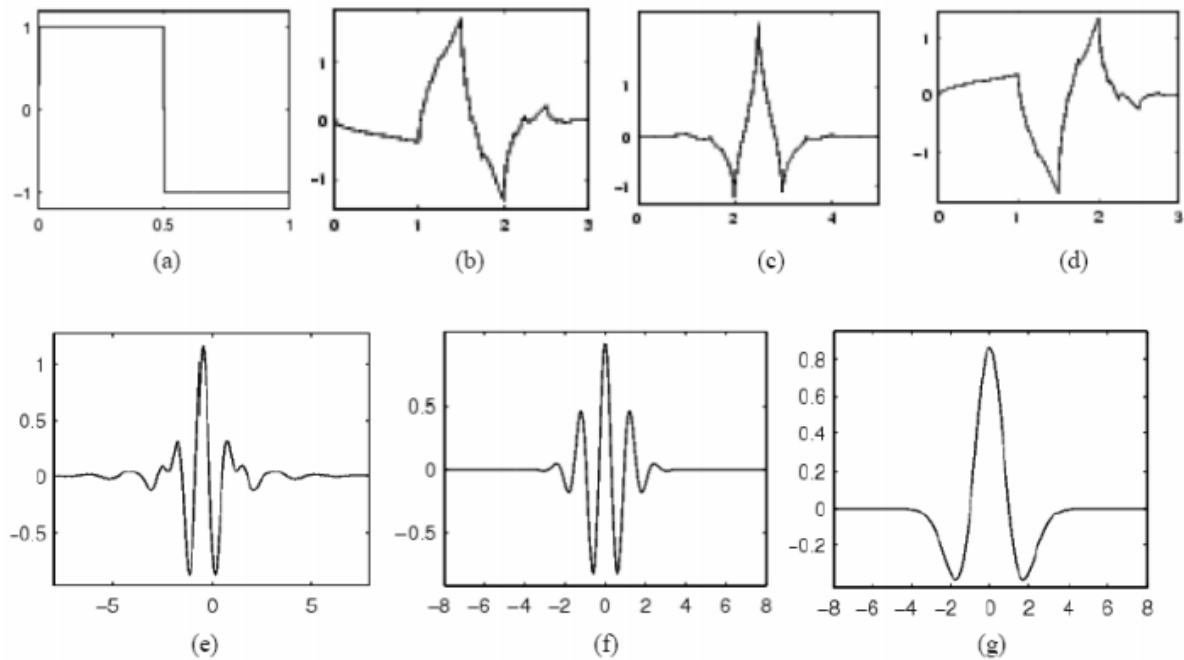
Gambar 2.8. Range frekuensi untuk sinyal detail dan approximation

Gambar 2.8 merupakan perkiraan variasi *range frekuensi* secara rinci untuk dekomposisi tiga level.

2.2.2 Jenis-Jenis Wavelet

Secara umum, transformasi wavelet dapat dikategorikan menjadi transformasi *wavelet* diskrit (*Discrete Wavelet Transform* atau *DWT*) dan transformasi *wavelet* kontinu (*Continuous wavelet Transform* atau *CWT*). *DWT* adalah transformasi *wavelet* yang paling sering digunakan karena selain lebih mudah diimplementasi, *DWT* juga memiliki waktu komputasi yang lebih pendek dibandingkan *CWT*.

Ada sejumlah fungsi basis yang dapat dipergunakan sebagai *mother wavelet* dalam transformasi *wavelet*. Karena *mother wavelet* menghasilkan semua fungsi *wavelet* yang digunakan dalam transformasi lewat translasi dan scaling, *mother wavelet* menemukan karakteristik dari transformasi *wavelet* yang dihasilkan. Maka dari itu, detail dari aplikasi yang dikembangkan harus diperhatikan agar *mother wavelet* yang dipilih dapat mengefektifkan penggunaan transformasi *wavelet*.



Gambar 2.9 Jenis-jenis wavelet [8]

Gambar 2.9 memberikan gambaran dari fungsi *wavelet* yang umum dipergunakan. *Wavelet Haar* adalah *wavelet* yang tertua dan paling sederhana. *Wavelet Daubechies* adalah yang paling sering dipergunakan. *Wavelet-wavelet* tersebut mewakili dasar dari pemrosesan sinyal dengan *wavelet* dan banyak dipergunakan dalam aplikasi. Dinamakan *wavelet maxflat* karena respon frekwensinya memiliki nilai flatness maksimum pada frekwensi 0 dan π . Sifat ini sangat diharapkan pada beberapa aplikasi. *Wavelet haar, daubechies, symlets* dan *coiflet* disusun oleh *wavelet orthogonal*. Bersama dengan *wavelet meyer*, *wavelet-wavelet* tersebut mampu melakukan *perfect reconstruction*. *Wavelet meyer, morlet* dan *Mexican Hat* memiliki bentuk simetri [7].

Transformasi *Wavelet* adalah salah satu cara untuk menganalisa satu sinyal multi frekuensi. Selain transformasi *wavelet*, penggunaan transformasi *Fourier* sangat populer untuk menganalisa sinyal multi frekuensi. Transformasi *Fourier* juga mampu untuk menganalisa sinyal multi frekuensi yang tidak periodik yaitu dengan *Windowed Fourier Transform* (WFT). Analisis ini lebih dikenal dengan *time frequency analysis*. Akan tetapi metode ini mempunyai kelemahan untuk mendeteksi sinyal *transient* yang mempunyai waktu sangat cepat. Oleh karena itu dikembangkan metode *time scale analysis* yang mampu menganalisis sinyal *transient* multi frekuensi yang tidak periodik dengan skala yang variabel. Metode ini juga sering disebut *Multiresolution Analysis* (MRA).

2.3 Probabilistic Neural Networks (PNN)

Probabilistic Neural Network adalah salah satu jaringan syaraf yang sering digunakan untuk membuat sebuah klasifikasi data. Pertama kali dikembangkan oleh Donald F. Specht pada tahun 1988. PNN termasuk dalam golongan *feedforward* pada jenis – jenis *neural network*. Dasar dari PNN adalah jaringan Bayesian dan algoritma statistik bernama *Kernel Fisher Discriminant Analysis*. Kegunaan kaidah Bayes adalah klasifikasi pada sebuah data. Keputusan pembagian kelas berdasarkan nilai jarak antara fungsi kepekatan peluang dari vektor ciri [7].

Secara umum, PNN memiliki tiga lapisan yaitu (Haykin, 1998) :

a. *Input layer*

Lapisan ini adalah lapisan masukan bagi metode PNN. Disini akan dipanggil nilai beberapa parameter yang akan digunakan untuk pelatihan. Setelah melakukan proses pelatihan, maka lapisan *input* akan memanggil data lain untuk melakukan tes pada jaringan yang telah terbentuk dari hasil pelatihan diawal.

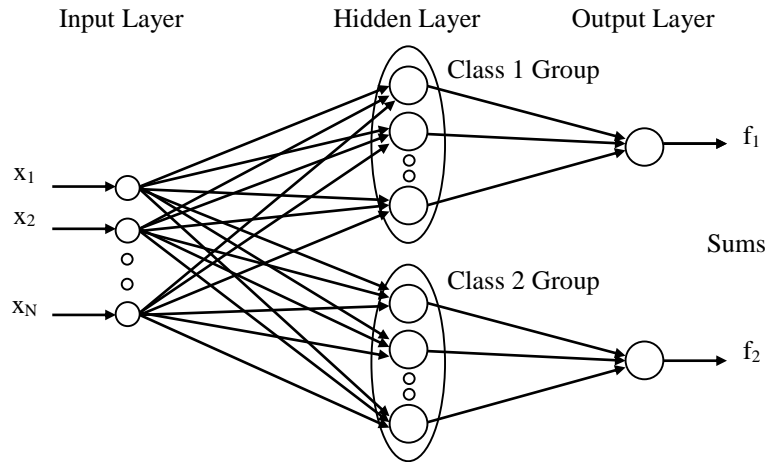
b. *Hidden layer*

Lapisan ini adalah proses pengolahan data dari lapisan input. pada lapisan ini PNN mencari jarak antara *weight input* dan data input. Setelah itu, proses selanjutnya adalah dengan melakukan proses radial basis pada nilai ini. *Output* dari *Hidden layer* adalah input bagi *ouput layer*.

c. *Ouput layer*

Pada bagian ini, PNN akan membentuk bilangan biner untuk membuat keputusan pada data – data yang diolah dari *hidden layer* untuk melakukan klasifikasi. Berikut ini adalah struktur pada PNN.

Sebuah jaringan syaraf probabilistik (JSP) memiliki 3 lapisan *node*. Gambar 2.8 menampilkan arsitektur untuk sebuah PNN yang mengenali $K = 2$ kelas, tetapi dapat diperpanjang untuk setiap jumlah K kelas. *Input layer* (di kiri) berisi *node* N , satu untuk setiap fitur masukan N yang pada umumnya berbentuk vektor. Terdapat sebaran *node* yang merupakan cabang di setiap *node* fitur masukan untuk semua *node* pada *hidden layer* (di tengah) sehingga setiap *hidden node* menerima fitur input vektor x secara lengkap. *Hidden node* dikumpulkan ke dalam kelompok, satu kelompok untuk setiap kelas K seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Arsitektur jaringan syaraf probabilistik

Setiap *hidden node* dalam grup kelas k dicocokkan dengan fungsi *Gaussian* berpusat pada vektor fitur yang terkait di kelas k (*Gaussian* untuk setiap jenis vektor fitur). Semua *Gaussians* dalam grup kelas mengisi nilai-nilai fungsional mereka ke *node output layer* yang sama untuk kelas itu, jadi ada K *node output*.

Pada *node output* untuk kelas k (di sini $k = 1$ atau 2), semua nilai *Gaussian* untuk kelas k dijumlahkan dan jumlah tersebut diskala menjadi volume probabilitas di bawah fungsi jumlah sehingga penjumlahan ini membentuk *probability density function*. Notasi khusus yang biasa digunakan adalah P yang merupakan teladan vektor fitur $\{x^{(p)}: p = 1, \dots, P\}$ sebagai kelas 1 dan Q yang merupakan teladan vektor fitur $\{y^{(q)}: q = 1, \dots, Q\}$ sebagai kelas 2. Pada *hidden layer* terdapat *node* P dalam grup kelas 1 dan *node* Q dalam grup kelas 2. Persamaan untuk setiap *Gaussian* berpusat pada masing-masing kelas yaitu kelas 1 dan kelas 2 pada $x^{(p)}$ dan $y^{(q)}$ (vektor fitur), N adalah dimensi vektor, maka untuk setiap vektor input x berlaku :

$$g_1(x) = [1/\sqrt{(2\pi\sigma^2)^N}] \exp \left\{ -\|x - x^{(p)}\|^2 / (2\sigma^2) \right\} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$g_2(y) = [1/\sqrt{(2\pi\sigma^2)^N}] \exp \left\{ -\|y - y^{(q)}\|^2 / (2\sigma^2) \right\} \dots\dots\dots (2.11)$$

Nilai σ dapat dianggap sebagai satu-setengah jarak rata-rata antara vektor fitur dalam grup yang sama atau pada setiap teladan adalah satu-setengah jarak dari teladan ke vektor teladan terdekat lainnya. Output *node* k^{th} merangkum nilai-nilai yang diterima dari *node*

tersembunyi dalam grup k^{th} , ini adalah perpaduan *Gaussians* atau *Parzen windows*. Penjumlahan dapat ditentukan sebagai :

$$f_1(x) = \left[\frac{1}{\sqrt{(2\pi\sigma^2)^N}} \right] \left(\frac{1}{P} \right) \sum_{(p=1,P)} \exp \left\{ -\|x - x^{(p)}\|^2 / (2\sigma^2) \right\} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$f_2(y) = \left[\frac{1}{\sqrt{(2\pi\sigma^2)^N}} \right] \left(\frac{1}{Q} \right) \sum_{(q=1,Q)} \exp \left\{ -\|y - y^{(q)}\|^2 / (2\sigma^2) \right\} \dots\dots\dots(2.13)$$

x adalah vektor fitur input, σ adalah *spread parameter* (standar deviasi) untuk Gaussians di kelas 1 dan 2, N adalah dimensi vektor input, P adalah jumlah vektor pusat di kelas 1 dan Q adalah jumlah vektor pusat di kelas 2, $x^{(p)}$ dan $y^{(q)}$ adalah pusat kelas 1 dan 2, dan $\|x - x^{(p)}\|$ adalah jarak *Euclidean* (akar kuadrat dari jumlah perbedaan kuadrat) antara x dan $x^{(p)}$.

Setiap masukan vektor x yang dimasukkan melalui kedua jumlah fungsi $f_1(x)$ dan $f_2(x)$ dan nilai maksimum (*maximum a posteriori*, atau nilai MAP) dari $f_1(x)$ dan $f_2(x)$ menentukan kelas. Untuk kelas $K > 2$ proses adalah analog.

Tidak ada iterasi atau perhitungan bobot (*weight*). Untuk sejumlah besar *Gaussians* dalam penjumlahan, penumpukan kesalahan dapat menjadi signifikan. Jadi vektor fitur di setiap kelas dapat dikurangi dengan penipisan vektor yang terlalu dekat ke yang lain dan membuat σ lebih besar.

Sebagai contoh terdapat vektor fitur untuk membentuk training set. Untuk masing-masing telah diketahui kelas asalnya. Berikut ini membangun PNN tersebut :

Langkah 1. Baca dalam file vektor contoh dan nomor kelas

Langkah 2. Urutkan ini ke dalam K set di mana setiap set berisi satu kelas vektor

Langkah 3. Untuk setiap K mendefinisikan fungsi *Gaussian* berpusat pada setiap vektor contoh di set K mendefinisikan kesimpulan fungsi *Gaussian* keluaran.

Setelah PNN didefinisikan, maka kita dapat memberi umpan vektor ke dalamnya dan mengklasifikasikan mereka sebagai berikut :

Langkah 1. Baca vektor input dan memberikannya pada setiap fungsi *Gaussian* di setiap kelas

Langkah 2. Untuk setiap grup *hidden node*, menghitung semua nilai fungsi *Gaussian* pada *hidden node*

Langkah 3. Untuk setiap grup *hidden node*, memberi umpan semua nilai fungsi *Gaussian* ke output node tunggal grup

Langkah 4. Pada setiap output node kelas, jumlah semua input dan kalikan dengan konstanta

Langkah 5. Cari nilai maksimum semua nilai fungsi penjumlahan pada output node

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Deteksi arus hubung singkat dilakukan pada terminal transformator selanjutnya direkam oleh PQM (*Power Quality Meter*). Data spektrum dari PQM diolah dengan transformasi wavelet dan dilakukan ekstraksi fitur yang selanjutnya diolah dengan PNN dan output PNN merupakan identifikasi keadaan kualitas minyak transformator.

3.1.1 Arus Transformator Primer dan Sekunder

Arus transformator primer dan sekunder hasil pengukuran berbentuk sinyal sinusoidal hasil dari pengukuran diinputkan ke sistem sebagai data masukan untuk diekstrak cirinya tetapi terlebih dahulu data tersebut harus dinormalisasi agar dapat dengan mudah diproses dengan algoritma wavelet.

3.1.2 Transformasi Wavelet

Algoritma wavelet yang digunakan pada sistem ini mengekstrak data hasil pengukuran arus yang berupa sinyal sinusoidal menggunakan wavelet satu dimensi dengan filter ‘db8’ sehingga didapatkan hasil ekstraksi ciri dari arus tersebut untuk dijadikan masukan ke PNN. Proses transformasi wavelet adalah menyaring data dari gelombang sinus yang direkam. Data input ini tidak berupa sinus murni. Hal ini disebabkan karena pada data input yang digunakan masih terdapat noise atau gangguan. Noise ini disebabkan karena adanya perbedaan kualitas minyak.

Proses transformasi diawali dengan dengan membuat nilai absolut dari input sinus. Nilai absolut dipakai untuk membuat fasa negatif dari sinyal sinus menjadi positif. Proses pada transformasi wavelet adalah proses untuk memisahkan sinyal sinus yang terkandung noise dengan sinyal dasar. Banyaknya sinyal input akan dikalikan dengan frekuensi dasar yang digunakan. Sinyal input yang sudah berada pada domain positif akan dibagi menjadi dua.

Jenis wavelet yang digunakan adalah wavelet Mayer. Wavelet ini dapat membagi sinyal input dengan sangat detail. Nilai sinyal input yang sudah berada pada domain positif akan diubah menjadi domain frekuensi. Nilai dari domain frekuensi ini disaring menjadi dua. Frekuensi ini adalah *high frequency* dan *low frequency*. Nilai frekuensinya adalah nilai

frekuensi dasar yang telah dikalikan dengan banyaknya sinyal input dibagi menjadi dua. Hasil dari pembagian sinyal ini adalah dua nilai. Nilai yang digunakan adalah nilai pada *high frequency*. Nilai *high frequency* pada proses pertama merepresentasikan nilai dari D1.

Langkah selanjutnya adalah dengan membagi dua lagi nilai *high frequency* pada D1. Nilai *high frequency* ini dibagi untuk menentukan frekuensi pada D2. Nilai yang digunakan adalah sama dengan D1 yaitu nilai pada *high frequency* dari sinyal D1. Hasil dari D2 akan difilter kembali dengan membagi dua nilai D2. Nilai *high frequency* dari hasil D2 akan menjadi nilai D3. Begitu seterusnya sehingga sampai pada nilai frekuensi dasar yang digunakan yaitu frekuensi 50Hz.

3.1.3 Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur yang dihasilkan oleh algoritma wavelet dijadikan masukan untuk PNN. Adapun tujuan dari ekstraksi fitur disini adalah untuk menyiapkan data masukan pada PNN agar dapat diproses sesuai dengan jangkauan data dan komputasi yang dibutuhkan oleh PNN. Ekstraksi disini adalah proses penentuan nilai pada D1, D2 sampai dengan D yang terdapat frekuensi dasar 50Hz. Pada D1 terdapat nilai energi dan PSD (*power spectral density*). Nilai energi disini merepresentasikan nilai minyak yang digunakan. Sedangkan nilai PSD merepresentasikan nilai kerusakan pada internal transformator. Untuk mendapatkan nilai energi dan PSD digunakan persamaan :

$$\text{Energi} = \sum_{d_0}^{d_1} f(HPF)_n^2 \dots \dots \dots (3.1)$$

dan untuk mencari nilai PSD adalah :

$$\text{PSD} = \frac{\text{Energi}}{f(HPF)_n} \dots \dots \dots (3.2)$$

d_1 = range akhir dari jumlah data

d_0 = range awal dari jumlah data

$f(HPF)_n$ = Frekuensi high pass filter atau sinyal detail

n = level sinyal detail

3.1.4 Pelatihan PNN

Algoritma pelatihan PNN digunakan untuk mendapatkan bentuk pengenalan yang sesuai agar nantinya didapatkan sistem yang dapat mengklasifikasi arus transformator berdasarkan level minyaknya. Setelah dilakukan pelatihan, kemudian hasil akhir berupa

keputusan apakah teridentifikasi atau tidak. Jika hasil tidak teridentifikasi pada level tertentu maka data input tersebut berada pada level lainnya. Proses tersebut dilakukan kembali dari awal untuk nilai input lainnya, jika teridentifikasi maka akan ditampilkan kelas minyak pada transformator.

Adapun urutan proses yang digunakan untuk pengujian sistem adalah sebagai berikut :

1. Input data

Input data adalah nilai yang berupa energi dan PSD. Energi dan PSD akan menentukan kelas pada transformator tersebut.

2. Normalisasi data

Proses ini adalah penormalisasian data sebagai nilai input yang akan digunakan. Semua nilai input akan dinormalisasi atau disamakan, sehingga pada pemrosesan pada algoritma PNN nilai yang digunakan adalah sama.

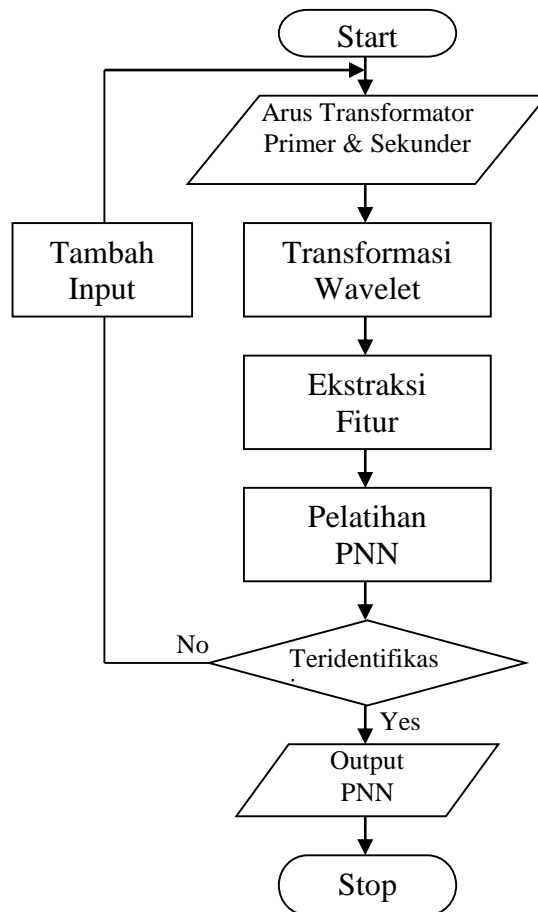
3. Proses dengan PNN.

Proses ini adalah penentuan kelas atau level dari minyak transformator. Proses penentuannya adalah pada input layer, semua nilai input akan dikalikan dengan nilai *weight*. Nilai *weight* atau pemberat pada metode PNN adalah nilai transpose dari nilai input.

4. Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi level. Jika level teridentifikasi maka tampilkan level, namun jika tidak teridentifikasi maka kembali ke langkah 1 dengan menambah data baru. Data disini adalah data berupa nilai energi dan PSD. Data input ini digunakan sebagai pelatihan (*training*) pada program untuk mendapatkan penentuan level minyak yang lebih akurat.

5. Stop.

Berikut ini adalah diagram alir deteksi penentuan level minyak.



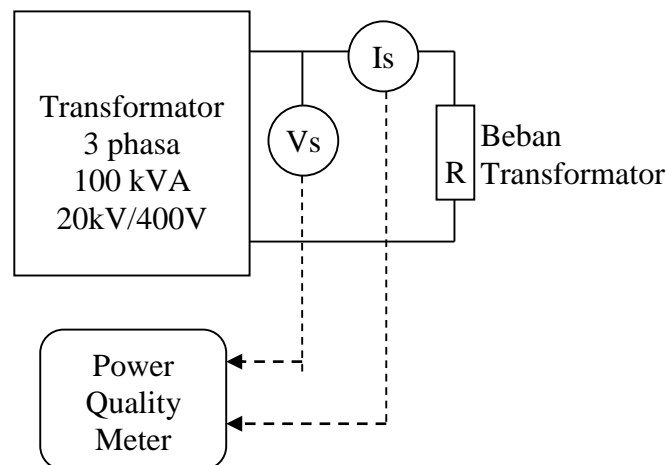
Gambar 3.1. Diagram Alir Deteksi Penentuan Level Minyak

Gambar 3.1 menjelaskan adanya hasil dari PNN untuk menentukan identifikasi level suatu minyak. Jika hasil dari identifikasi sudah dapat ditentukan level minyak, maka pelatihan akan berhenti (stop). Namun, jika masih belum ada identifikasi maka perlu ditambahkan data input yaitu data dari transformator berupa arus transformator primer dan sekunder.

3.2. Penelitian Lapangan

Transformator distribusi tiga fasa digunakan sebagai obyek penelitian. Spesifikasi transformator sebagai berikut : tegangan kerja primer 20 kV, tegangan kerja sekunder 400 V, daya kerja 100 kVA, frekwensi 50 Hz, hubungan belitan YZn5. Transformator terisi dengan minyak yang berbeda-beda umurnya untuk dideteksi gejala hubung singkat pada minyak berdasarkan spektrum arus pada terminal primer maupun sekunder. Penelitian ini menggunakan empat transformator. Transformator ini memiliki umur yang berbeda. Umur pada transformator ini merepresentasikan nilai umur minyak dari transformator tersebut. Umur transformator yang digunakan adalah 0 tahun, 1 tahun, 2 tahun dan 3 tahun. Pada penelitian ini kapasitas transformator yang digunakan adalah sama yaitu 100kVA.

0 tahun adalah transformator yang baru dipasang untuk pelanggan. Transformator ini terletak di perumahan. Berikutnya adalah transformator dengan umur pemasangan 1 tahun. Transformator yang berumur 1 tahun ini adalah transformator dengan beban rumah tangga dan bisnis. Transformator kedua adalah transformator dengan umur pemasangan dua tahun. Transformator ini berbeban rumah tangga. Transformator ketiga adalah transformator yang terletak di depan makam. Transformator ini telah terpasang selama tiga tahun dan berbeban rumah tangga. Diagram rangkaian penelitian seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Rangkaian Penelitian

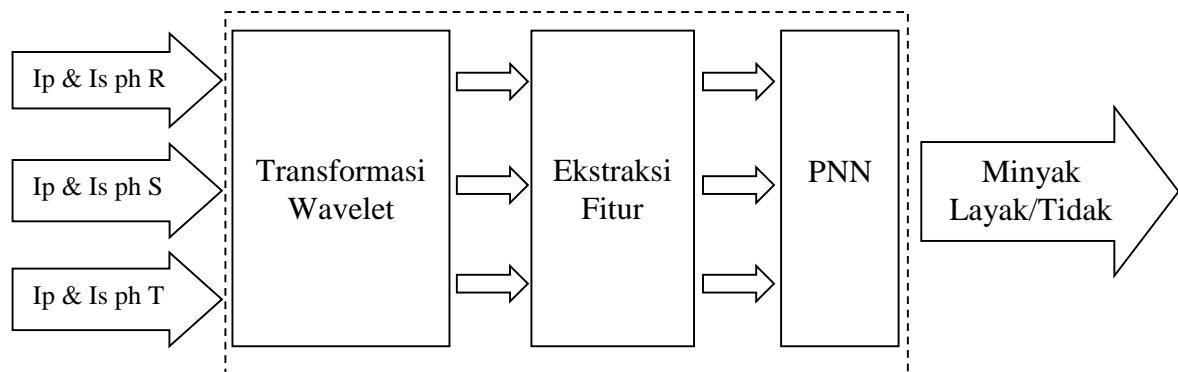
Data-data hasil penelitian diantaranya spektrum arus dan tegangan pada sisi primer dan sekunder yang dibaca oleh *power quality meter* sehingga kejadian tidak normal dalam spektrum dapat direkam untuk dikenali dan dianalisis selanjutnya.

3.3. Pengambilan Data

Gejala hubung singkat sesaat yang dideteksi dari spektrum arus diukur dengan menggunakan *power quality meter* (PQM) merk HIOKI seri 9340. Spektrum arus diukur pada tiap fasa baik pada terminal primer maupun sekunder dan diukur secara bersamaan untuk mendapatkan spektrum arus yang simultan antara arus primer dan sekunder. Pada tahapan ini diambil data bentuk gelombang arus pada terminal primer dan sekunder kondisi normal maupun yang mengalami gangguan. Data arus normal didapatkan ketika transformator diisi dengan minyak yang berkualitas baik sedangkan untuk memperoleh data hubung singkat diperoleh ketika transformator diisi dengan minyak yang berkualitas kurang baik.

3.4. Menentukan Fitur Data

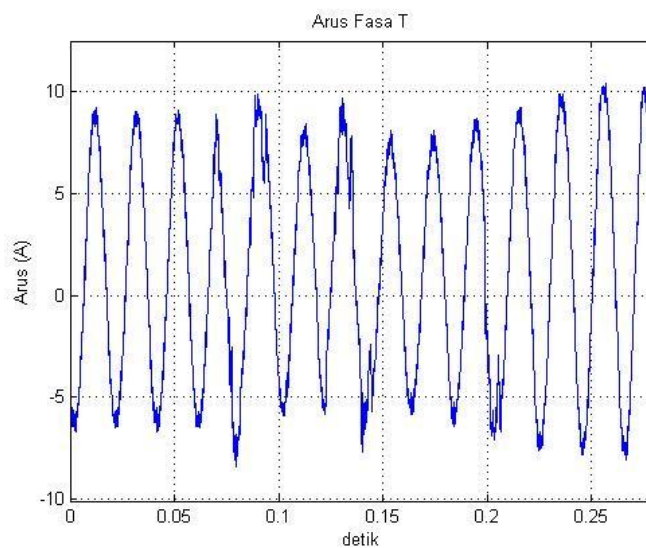
Data-data bentuk gelombang yang diperoleh dari penelitian di laboratorium dikelompokkan menjadi dua. Data pertama merupakan data yang nantinya akan digunakan sebagai masukan dalam proses pembelajaran *neural network*. Data kedua merupakan data pengujian untuk mengetahui unjuk kerja *neural network*. Data spektrum arus dan tegangan tersebut diolah menggunakan *discrete wavelet transform* (DWT) untuk mendapatkan *feature extraction* bentuk gelombangnya.



Gambar 3.3. Struktur Identifikasi

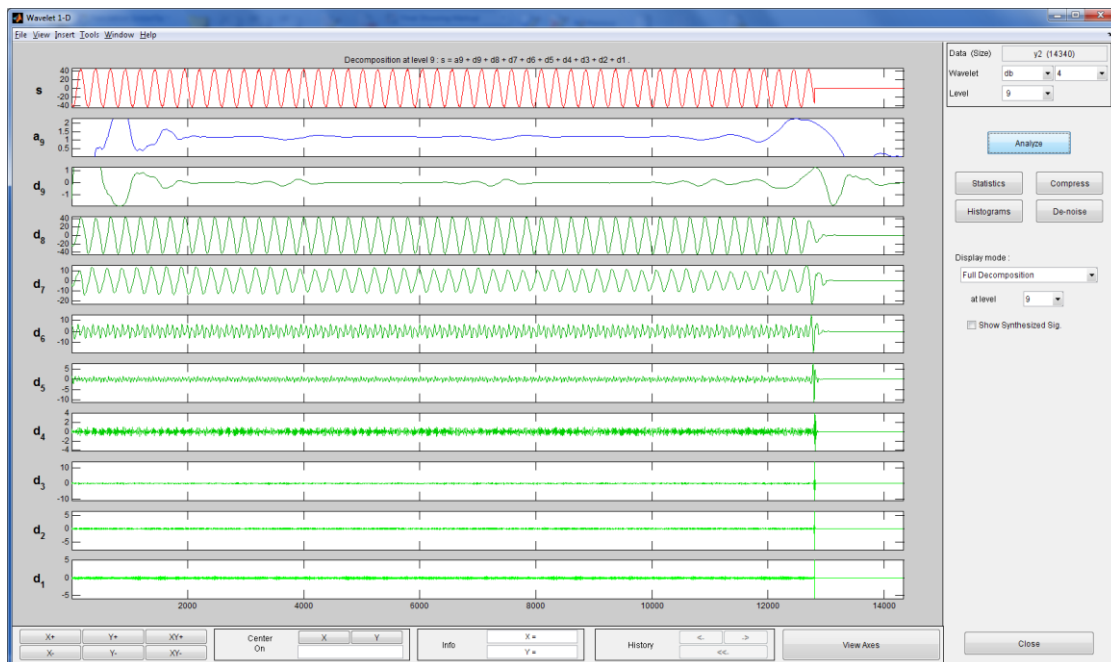
3.5. Hasil Pengukuran

Berdasarkan penelitian awal pada bulan Mei 2012 telah dikenali adanya spektrum arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada fasa T kumparan sekunder dengan bentuk spektrum seperti pada gambar 3.4.



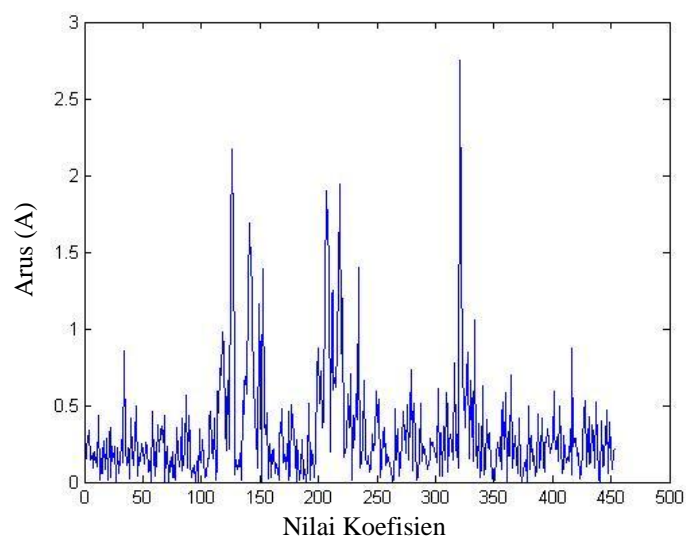
Gambar 3.4. Spektrum Arus Sekunder Fasa T

Spektrum ini selanjutnya diekstraksi dengan *Daubechies wavelets* dekomposisi tingkat 3 menghasilkan koefisien detil seperti gambar 3.5.



Gambar 3.5. Koefisien Detil Spektrum Arus

Untuk membedakan kondisi normal dan gangguan dibutuhkan *threshold* lebih besar dari 2 dianggap terjadi gangguan namun sebelumnya koefisien detil dibuat absolut seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Nilai Absolut Koefisien Detil

BAB 4

SIMULASI SISTEM DAN ANALISIS DATA

4.1 Pengambilan Data

Data yang digunakan adalah data arus sekunder dari transformator 100 kVA. Transformator yang diambil datanya ada empat. Keempat transformator ini memiliki umur yang berbeda. Umur dari transformator ini adalah 0 tahun, 1 tahun, 2 tahun dan 3 tahun. Umur transformator ini merepresentasikan minyak transformator yang digunakan. Transformator dengan pemasangan 1 tahun, tentu akan lebih bagus kondisi minyaknya dari pada transformator dengan yang telah terpasang 2 tahun. Begitu juga dengan transformator yang telah terpasang selama 2 tahun, transformator ini lebih baik dari pada transformator yang telah terpasang selama 3 tahun. Dari 4 transformator yang diambil datanya, transformator berumur 0 tahun dijadikan sebagai *base* atau dasar perbandingan dari pada transformator lainnya.

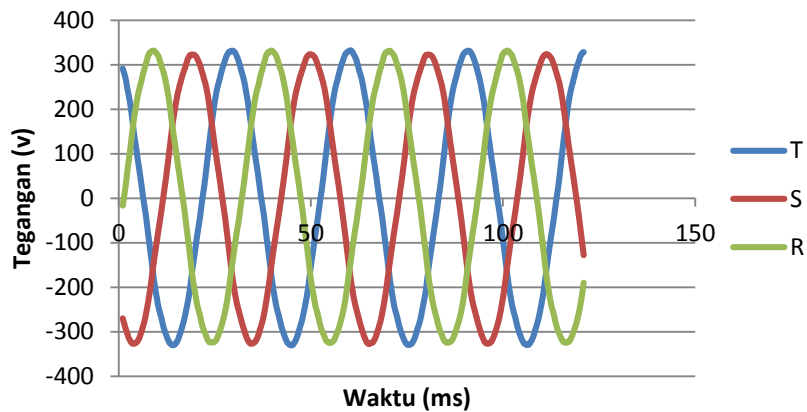
Pengambilan data dilakukan pada hari jum'at tanggal 17 Januari 2014, dimulai pukul 12.00 malam. Data direkam selama setengah jam. Perekaman data menggunakan HIOKI 3196 Power Quality Analyzer. HIOKI Power Analyzer terdapat 8 probe berwarna merah, kuning, biru, abu – abu dan empat probe berwarna hitam untuk titik netral. 8 probe ini digunakan untuk membaca nilai tegangan. Selain 8 probe tersebut, pada HIOKI Power Analyzer juga terdapat clamp untuk dikalungkan pada kabel dan membaca arus yang lewat pada kabel tersebut. Terdapat 4 *clamp* yang digunakan untuk membaca arus, namun *clamp* yang digunakan hanya 3 buah, hal ini dikarenakan terdapat 1 *clamp* yang rusak. 3 *clamp* dikalungkan pada kabel yang terdapat pada panel gardu disetiap transformator distribusi. Setiap *clamp* merepresentasikan setiap fasa yang terdapat pada panel distribusi tersebut.

Data pada pembacaan arus sekunder memiliki nilai yang relatif sama, hal ini dikarenakan waktu pengambilan data pada tengah malam dan beban pada transformator yang diambil adalah sama yaitu beban rumah tangga. Contoh data yang diambil pada transformator dengan umur 0 tahun atau baru terpasang bisa dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil data pada transformator dengan umur 0 tahun

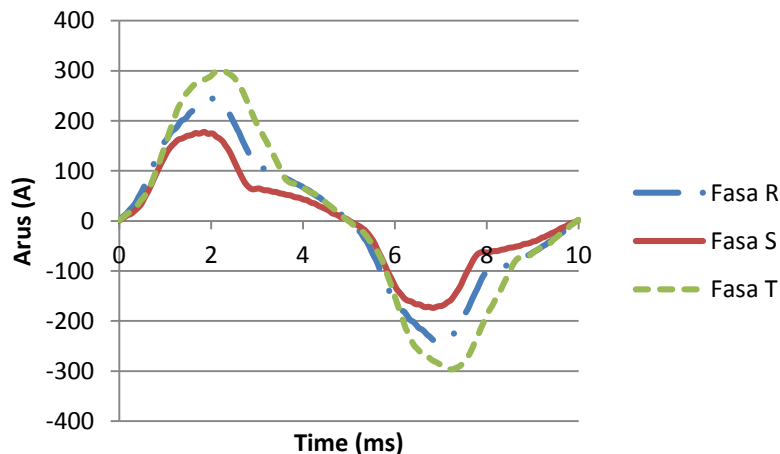
Tegangan fasa R (U1)	Tegangan fasa S (U2)	Tegangan fasa T (U3)	Arus Fasa R (I1)	Arus Fasa S (I2)	Arus Fasa T (I3)
-298	95.3	214	-48.4	51.8	-93.2
-295	88.5	218	-46.4	53.9	-88.7
-292	81.8	223	-44.3	56.8	-86.1
-290	73.9	227	-41.5	60.7	-84.6
-286	66	232	-40.5	63.4	-84.1
-283	58.4	237	-37.4	66.8	-83
-279	50.4	242	-34.7	69.1	-82.5
-275	42.4	247	-32.1	71.2	-82.2
-271	34.5	252	-29.2	73.9	-81.4
-267	25.9	256	-27	76	-80.9
-263	18.1	260	-23.5	79	-79.5
-260	10.5	264	-20.7	81.7	-78.6
-255	2.8	268	-18	84	-77.9
-251	-4	272	-15.3	86.6	-77.1
-248	-11.9	275	-12.3	89	-76
-244	-19.5	279	-10	90.5	-75.5
-239	-26.8	282	-7.2	91.8	-74.3
-235	-35	286	-4.9	92.4	-74
-229	-42.8	290	-2.5	93.3	-73
-225	-51.2	294	1	94.7	-71.6
-219	-59.4	297	2.9	95.1	-71

Pada tabel 4.1 U1 adalah nilai tegangan pada fasa R, U2 adalah tegangan pada fasa S, U3 adalah nilai tegangan pada fasa T. Semua tegangan yang sudah diambil dalam satuan Volt. Nilai rata – rata dari tegangan adalah 221,16 V untuk fasa R, 221,96 untuk fasa S dan 221,08 untuk fasa T. Rata – rata arus pada fasa R adalah 1,13 A, pada fasa S adalah 1,17 A dan pada fasa T adalah 1,53 A. Rata – rata Frekuensi sistem pada saat pengambilan data adalah 50,023 Hz.



Gambar 4.1 Bentuk Sinyal Tegangan pada Transformator berumur 0 tahun

Bentuk sinyal tegangan pada transformator adalah sinus, hal ini tidak dipengaruhi oleh nilai THD tegangan. Nilai THD tegangan sangatlah kecil sehingga bentuk yang ditampilkan pada nilai grafik tegangan adalah berbentuk sinus sempurna. Nilai harmoniknya adalah 0,35% untuk orde ke 3, 1,22 % untuk orde ke 5 dan 0,9% untuk orde ke 7.



Gambar 4.2 Bentuk sinyal arus pada transformator berumur 0 tahun

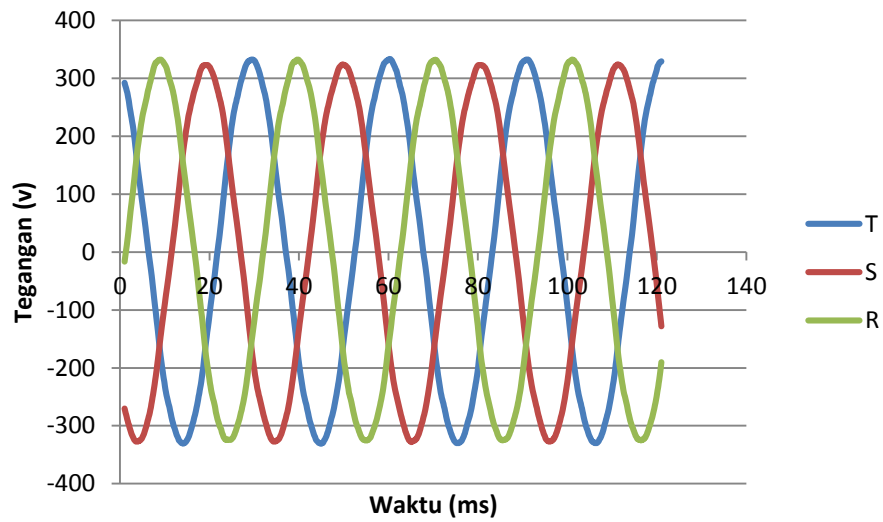
Gambar 4.2 menunjukkan bentuk dari sinyal arus. Sinyal arus yang ditampilkan pada gambar 4.2 tidak berbentuk sinus sempurna. Bentuk tidak sempurna ini diakibatkan karena adanya harmonisa yang terkandung pada arus tersebut. Harmonisa dapat mengubah bentuk arus yang seharusnya sinus murni atau mendekati sinus, berubah menjadi sinus tidak sempurna. Harmonisa yang terkandung pada arus dapat dikatakan besar, berikut ini contoh nilai harmonisa di 3 orde awal yang dimulai dari orde 3. Nilainya adalah 25,11% pada orde ke 3, 4,7% pada orde ke 5 dan 4,64 & pada orde ke 7.

Pengambilan data berikutnya adalah transformator dengan umur terpasang 1 tahun. Pengambilan data juga menggunakan HIOKI Power Quality Analyzer. Contoh data pada pengambilan data 1 tahun bisa dilihat pada tabel 4.2.

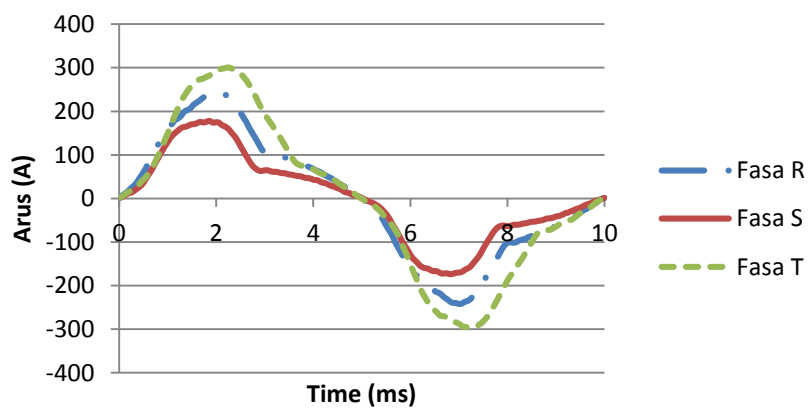
Tabel 4.2 Hasil data pada transformator dengan umur 1 tahun

Tegangan fasa R (U1)	Tegangan fasa S (U2)	Tegangan fasa T (U3)	Arus Fasa R (I1)	Arus Fasa S (I2)	Arus Fasa T (I3)
-14.6	-270	287	-32.2	25.9	-14.6
-5.9	-273	282	-30.6	26.4	-14.4
1.8	-276	277	-29.6	26.7	-14.4
9.9	-279	272	-28.1	27	-14.4
18.1	-283	267	-26.4	27.5	-14.2
26	-286	262	-25.9	26.9	-15
34.4	-288	257	-24	27.3	-14.8
42.7	-292	252	-22.2	28.1	-14.5
51.2	-295	246	-20.5	28.4	-14.5
59.1	-298	240	-19.4	28.4	-14.8
67.5	-300	235	-17.5	28.6	-14.4
76	-303	230	-16.7	28	-14.9
84.8	-306	224	-14.9	28.4	-14.6
93.5	-309	218	-13.5	28.6	-14.6
102	-311	212	-12.1	29.3	-14.6
111	-314	206	-10.5	30	-14.6
119	-316	200	-8.8	31.3	-14.2
128	-319	194	-7.4	32.3	-14.5

Sama seperti pada tabel 4.1, pada tabel 4.2 juga terdapat variabel U yang merepresentasikan tegangan pada setiap fasanya, dan I yang merepresentasikan arus pada setiap fasanya. Frekuensi sistem yang terukur adalah 50,049 Hz. Nilai rata – rata tegangan pada fasa R adalah 225,53 V, pada fasa S adalah 223,40 V, fasa T adalah 227,95. Untuk nilai arus, pada fasa R arus yang terekam memiliki rata – rata 3,19 A, pada fasa S adalah 2,04 A dan fasa T adalah 1,56 A.



Gambar 4.3 Bentuk Sinyal Tegangan pada Transformator berumur 1 tahun



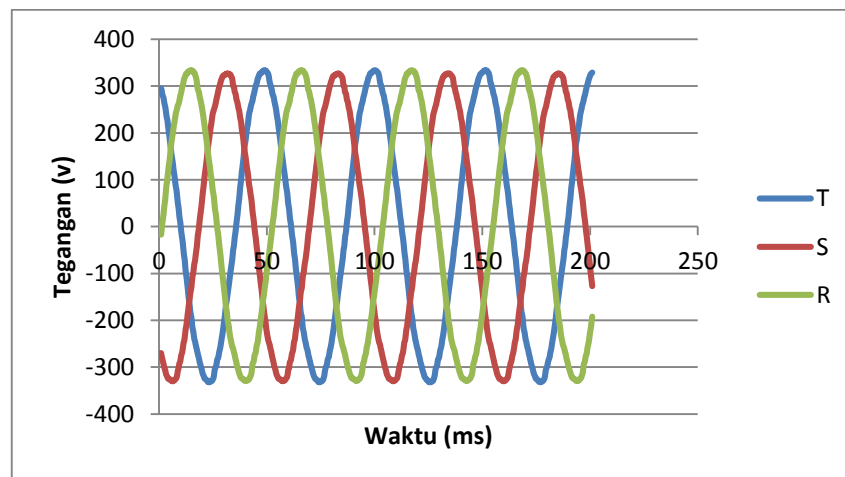
Gambar 4.4 Bentuk Sinyal Arus pada Transformator berumur 1 tahun

Pengukuran berikutnya adalah dengan menggunakan transformator berumur 2 tahun. Tabel 4.3 menunjukkan contoh data hasil transformator dengan umur 2 tahun.

Tabel 4.3 Hasil data pada transformator dengan umur 2 tahun

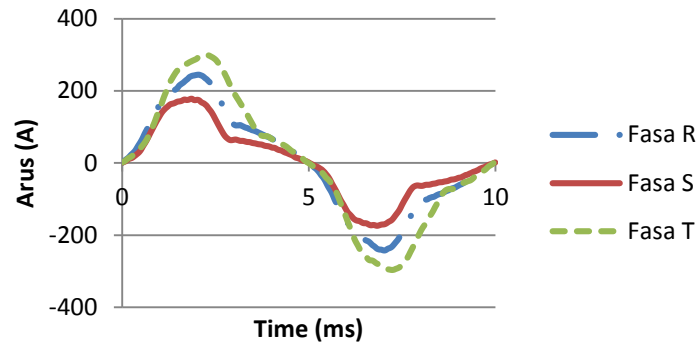
Tegangan fasa R (U1)	Tegangan fasa S (U2)	Tegangan fasa T (U3)	Arus Fasa R (I1)	Arus Fasa S (I2)	Arus Fasa T (I3)
-17	-270	295	0.6	1.3	1.3
-8.4	-275	292	0.9	0.9	0.8
0.2	-279	287	0.9	1.3	1.3
8.3	-283	282	1.3	1.1	1.3
14.8	-287	279	1.1	1.3	1.4
22.1	-291	277	1	1.1	1.5
30.3	-295	273	1.5	1	1.5
39.3	-299	267	0.6	0.8	1.3
46.8	-302	262	1	0.8	1.2
53.8	-305	258	1	0.8	1.4
62.6	-308	254	0.3	0	0.8
73.5	-313	247	1.2	0.6	1.2
84	-316	240	0.4	0.2	1.2
91.7	-318	234	1	0.3	1.2
97.9	-320	230	0.4	0	1.2
106	-322	225	0.6	0	1.1
114	-324	216	1	0.3	1.3
123	-325	209	0.3	0	1.3

Frekuensi terukur pada sistem adalah 50,127 Hz. Nilai rata – rata tegangan pada fasa R adalah 229,07 V, pada fasa S adalah 223,89 V, fasa T adalah 221,22. Untuk nilai arus, pada fasa R arus yang terekam memiliki rata – rata 5,22 A, pada fasa S adalah 7,15 A dan fasa T adalah 10,95 A.



Gambar 4.5 Bentuk sinyal tegangan pada transformator berumur 2 tahun

Untuk grafik arus pada transformator yang berumur 2 tahun adalah pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Bentuk Sinyal Arus pada Transformator berumur 2 tahun

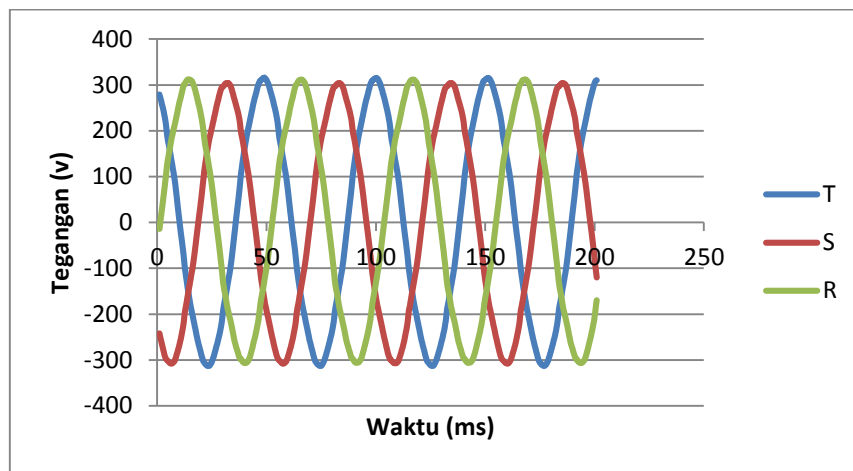
Terakhir adalah transformator dengan umur 3 tahun. Hari pengambilan data sama dengan transformator yang lain. Contoh dari pengambilan data pada transformator yang berumur 3 tahun bisa dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil data pada transformator dengan umur 3 tahun

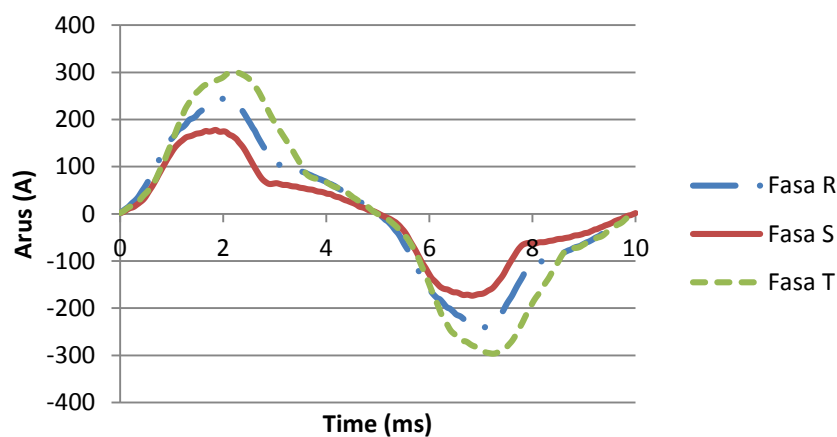
Tegangan fasa R (U1)	Tegangan fasa S (U2)	Tegangan fasa T (U3)	Arus Fasa R (I1)	Arus Fasa S (I2)	Arus Fasa T (I3)
-14.2	-242	279	-48.4	51.8	-93.2
-6.4	-247	275	-46.4	53.9	-88.7
1.4	-251	272	-44.3	56.8	-86.1
9.2	-255	268	-41.5	60.7	-84.6
16.7	-259	265	-40.5	63.4	-84.1
23.8	-263	260	-37.4	66.8	-83
31.3	-267	256	-34.7	69.1	-82.5
39.2	-271	253	-32.1	71.2	-82.2
46.8	-275	249	-29.2	73.9	-81.4
54.8	-279	245	-27	76	-80.9
62.6	-283	240	-23.5	79	-79.5
70.7	-287	235	-20.7	81.7	-78.6
78.7	-291	230	-18	84	-77.9
87.1	-293	225	-15.3	86.6	-77.1
95.2	-296	219	-12.3	89	-76
104	-298	212	-10	90.5	-75.5
113	-299	203	-7.2	91.8	-74.3
122	-300	195	-4.9	92.4	-74
129	-301	187	-2.5	93.3	-73
136	-302	181	1	94.7	-71.6

Frekuensi pada sistem pada transformator ini adalah 49,684 Hz. Tegangan pada fasa R memiliki nilai rata – rata 215,63 V, fasa S adalah 217,03 V, dan fasa T adalah 213,32 V. Pada

nilai arus, nilai rata – ratanya adalah 6,26 A untuk fasa R, 6,93 untuk fasa S dan 7,85 A untuk fasa T.



Gambar 4.7 Bentuk sinyal tegangan pada transformator berumur 3 tahun



Gambar 4.8 Bentuk sinyal arus pada transformator berumur 3 tahun

4.2 Fast Fourier Transform (FFT)

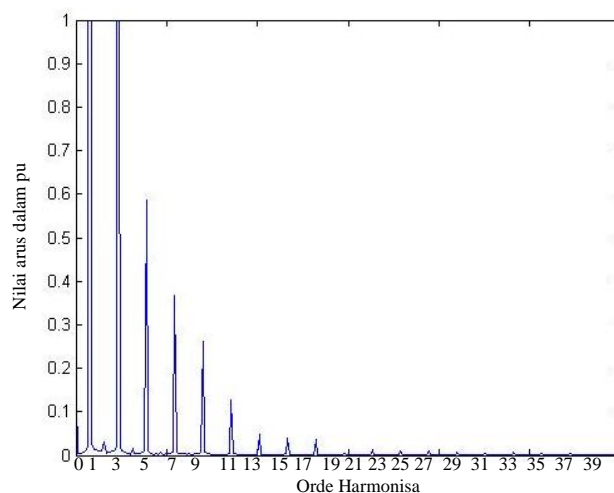
Proses FFT adalah proses pengubahan seluruh sinyal yang mengandung harmonisa dalam domain waktu, menjadi sinyal dalam domain frekuensi. Pengubahan ini bertujuan untuk melihat adanya harmonisa dalam domain frekuensi. Pada domain frekuensi ini, perbedaan harmonisa pada setiap sinyal arus akan terlihat dengan jelas. Domain dengan nilai frekuensi fundamental memiliki nilai amplitudo yang paling besar dan mendekati sumbu Y.. Namun, disebelah nilai amplitudo yang paling besar terdapat beberapa riak kecil dengan nilai amplitudo tidak sebesar frekuensi fundamental. Riak kecil ini adalah nilai harmonisa.

Proses pengubahan dari arus yang mengandung harmonisa, yang awalnya berada didomain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan perintah :

```
xfft10 = fft(x10,nfft);  
x10 = xfft10(1:nfft/2);  
magx10a = abs(x10)/12750;  
ampspec10a = 20*log10(magx10a);
```

Perintah xfft10 digunakan untuk menjalankan program berupa fft pada sinyal dengan dimensi baris ke x10 dan kolom ke nfft. Baris x10 telah ditentukan terlebih dahulu. Yaitu dari pembacaan file csv yang didapat dari hasil pengukuran langsung. Sedangkan nilai nfft adalah jumlah data yang akan dipakai untuk perhitungan mendapatkan nilai FFT. Nilai ini adalah setengah dari total banyak data yang digunakan.

Setelah semua nilai parameter terpenuhi, maka program ini akan menampilkan hasil konversi dari arus yang mengandung harmonisa yang semula berada di domain waktu, dikonversi menjadi di domain frekuensi. Hasil dari program ini adalah



Gambar 4.9 Contoh pengubahan sinyal dalam domain frekuensi

Gambar 4.9 adalah hasil pengubahan sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Sumbu y adalah nilai amplitudo yang menunjukkan nilai harmonisa dan sumbu x adalah orde dari harmonisa.

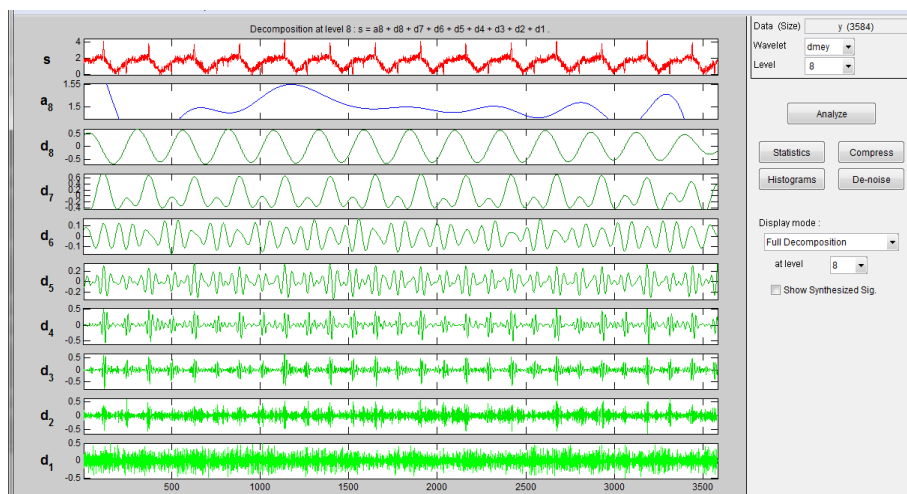
Pemilihan data yang akan digunakan untuk pada transformasi wavelet adalah berdasarkan dari hasil FFT arus harmonisa. Hasil FFT akan menunjukkan harmonisa berada pada orde tertentu dengan nilai tertentu. Contohnya adalah pada gambar 4.9, dengan nilai harmonisa antara 0.3 sampai 0.4 dan berada pada rentang 0.05 sampai 0.1, maka untuk data –

data yang akan digunakan dipilih nilai harmonisa dengan nilai – nilai yang berada pada rentang tersebut.

Data yang digunakan sebanyak 35 data, dengan pembagian 30 data digunakan untuk training dan 5 data digunakan untuk testing. Namun, sebelum dimasukkan pada program PNN, 30 data ini akan diproses dalam transformasi wavelet terlebih dahulu. Transformasi wavelet akan menghasilkan nilai energy dan PSD. Nilai ini yang akan digunakan untuk mengklasifikasikan kelas dari transformator tersebut.

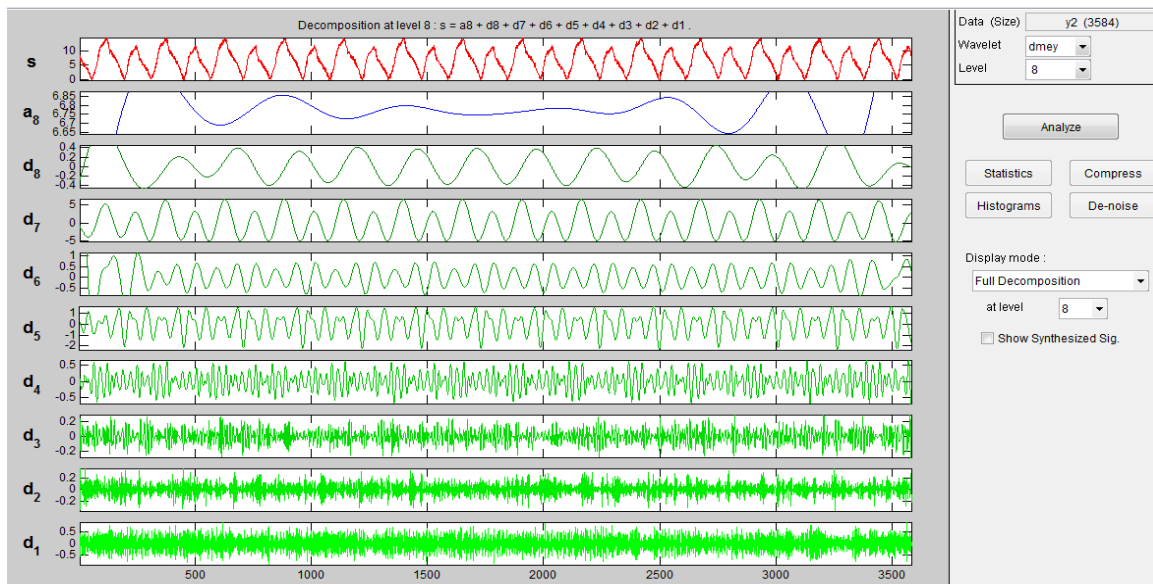
4.3 Transformasi Wavelet

Pada transformasi *wavelet* sinyal input yang berupa sinyal arus akan difilter untuk mendapatkan nilai energi dan PSD (*Power Spectral Density*). Jenis *wavelet* yang digunakan adalah *wavelet* meyer. Pengolahan sinyal input dilakukan di MATLAB. Pengolahan pada MATLAB menggunakan algoritma “*dmey*”. Algoritma ini akan memproses sinyal input yaitu dengan membagi frekuensi awalnya menjadi 2. Nilai yang diambil untuk proses berikutnya adalah nilai High pada sinyal. Atau dengan kata lain, sinyal input disaring yang akan menghasilkan *low pass* dan *high pass*. Gambar pencacahan nilai input pada *wavelet* mayer adalah seperti pada gambar 4.10.

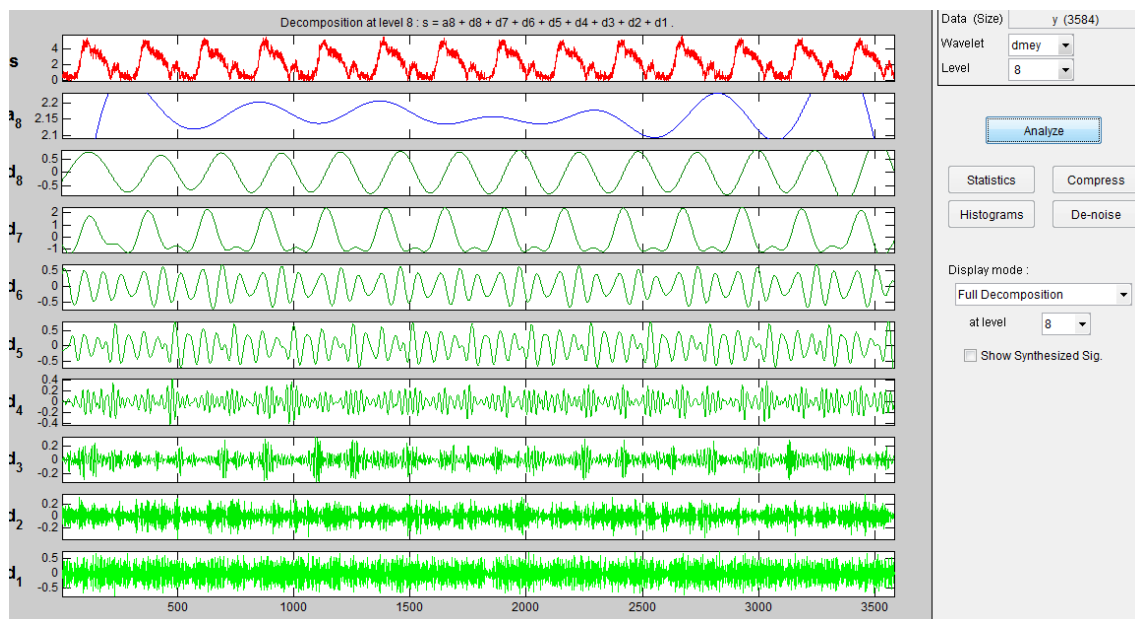


Gambar 4.10 Proses sinyal input berupa arus pada transformator 0 tahun

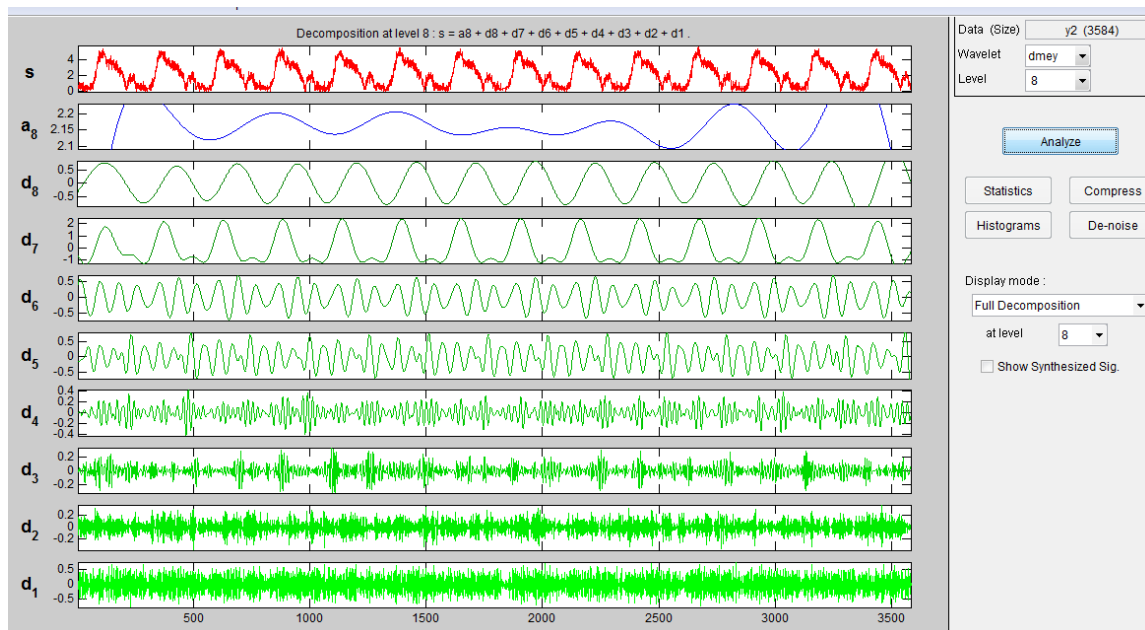
Pada gambar 4.10 diperlihatkan proses *wavelet* mayer. Proses ini adalah menyaring arus input menjadi 8 level. Penggunaan 8 level *wavelet* mayer karena pada level 8 telah dapat dilihat nilai sinus murni yang merupakan frekuensi dasar dari sistem kelistrikan di Indonesia. Berikut ini adalah proses *wavelet* mayer pada transformator dengan umur 1 tahun, 2 tahun dan 3 tahun.



Gambar 4.11 Proses sinyal input berupa arus pada transformator 1 tahun



Gambar 4.12 Proses sinyal input berupa arus pada transformator 2 tahun



Gambar 4.13 Proses sinyal input berupa arus pada transformator 3 tahun

Pada gambar 4.10 sampai 4.13 sinyal detail 8 memiliki kerapatan energi dan bentuk sinyalnya sama dengan kerapatan energi dan bentuk sinyal samplingnya. Hal ini disebabkan pada dalam pengambilan nilai absolute, *wavelet* meyer lebih detail dan lebih bagus dari pada wavelet lain. Oleh karena itu wavelet meyer yang paling bagus digunakan sebagai langkah awal untuk mendapatkan nilai PSD. Nilai PSD ini nantinya digunakan sebagai acuan untuk mendeteksi adanya masalah pada minyak transformator. Hasil perhitungan dari energi dan PSD ditampilkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Energi dan PSD

RT 1	fasa R	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
	ENERGI	42.4	315.1	664.1	1036019.9	161319130.8	9736119239.0	3154849801.9	71215226.8	27800217.7
	PSD	0.0	0.1	0.2	288.9	44985.8	2715036.0	879768.5	19859.2	7752.4
RT 2	fasa R									
	ENERGI	113.8	255.0	34057.1	58295758.4	5961699126.0	422266180717.3	152117029569.9	4369431193.8	1658002562.8
	PSD	0.0	0.1	9.5	16256.5	1662492.8	117754093.9	42419695.9	1218469.4	462354.3
RT 4	fasa R									
	ENERGI	22.7	471.0	27429.0	97869929.6	10954636991.9	652425876816.5	170485461403.6	5243887341.5	2063231678.2
	PSD	0.0	0.1	7.6	27292.2	3054834.6	181936942.8	47541958.0	1462322.2	575357.4
Sosial 1	fasa R									
	ENERGI	54.0	540.4	13493.1	31735.3	226584.6	34837679.6	2684247.8	898161.8	9070.6
	PSD	0.0	0.2	3.8	8.8	63.2	9714.9	748.5	250.5	2.5

Untuk mendapatkan nilai energi dan nilai PSD, digunakan persamaan 3.1 dan persamaan 3.2. Koding yang digunakan untuk memproses nilai input dan menghasilkan nilai energi dan PSD adalah

```
data = csvread('baru_tahun2.csv',2,0);
input_sinyal = data(:,6);
y = abs(input_sinyal);
```

Perintah “csvread” digunakan untuk memanggil file dengan ekstensi csv. Hasil dari HIOKI adalah file dengan ekstensi csv. Proses pertama adalah dengan membuat semua sinyal input menjadi positif. Perintah yang digunakan adalah “abs”. Semua fasa negatif pada sinyal input dibuat menjadi positif agar dapat difilter menjadi *high* dan *low*. Semua nilai *noise* akan disaring dan nanti pada level ke 9 akan didapat nilai sinus murni yang merupakan frekuensi murni dari sistem kelistrikan PLN yaitu 50 Hz.

Proses selanjutnya adalah dengan menyaring atau memfilter sinyal yang telah diabsolutkan tersebut. Perintah yang digunakan adalah

```
[LFnormal,HFnormal] = dwt(y,'dmey');
[LFnormal2,HFnormal2] = dwt(LFnormal,'dmey');
[LFnormal3,HFnormal3] = dwt(LFnormal2,'dmey');
[LFnormal4,HFnormal4] = dwt(LFnormal3,'dmey');
[LFnormal5,HFnormal5] = dwt(LFnormal4,'dmey');
[LFnormal6,HFnormal6] = dwt(LFnormal5,'dmey');
[LFnormal7,HFnormal7] = dwt(LFnormal6,'dmey');
[LFnormal8,HFnormal8] = dwt(LFnormal7,'dmey');
```

Perintah “dwt” adalah perintah pada *descrete wavelet transform*. Perintah ini adalah untuk memproses nilai input dengan menggunakan *wavelet* mayer. Nilai input yang diproses menggunakan *wavelet* mayer akan dijadikan nilai D1. Begitu juga pada proses selanjutnya yaitu memfilter sinyal yang telah difilter pada proses sebelumnya. Nilai yang difilter sampai pada D9.

Untuk mendapatkan nilai energi dan PSD, maka perintah yang digunakan adalah

```
%energil
absbanding1=[abs(HFnormal) abs(HFnormaloks)];% nilai
absploute sinyal bikin positif
cobakuadrat1=(power(absbanding1(:,1),2));
energil=sum((cobakuadrat1.^2));
psd1=energil/3586;
cobakuadrats1=(power(absbanding1(:,2),2));
energis1=sum((cobakuadrats1.^2));
psds1=energis1/3586;
```

Setelah melakukan perhitungan energy, maka proses berikutnya adalah proses terakhir. Terakhir adalah proses menampilkan nilai energi dan PSD. Perintah yang digunakan adalah

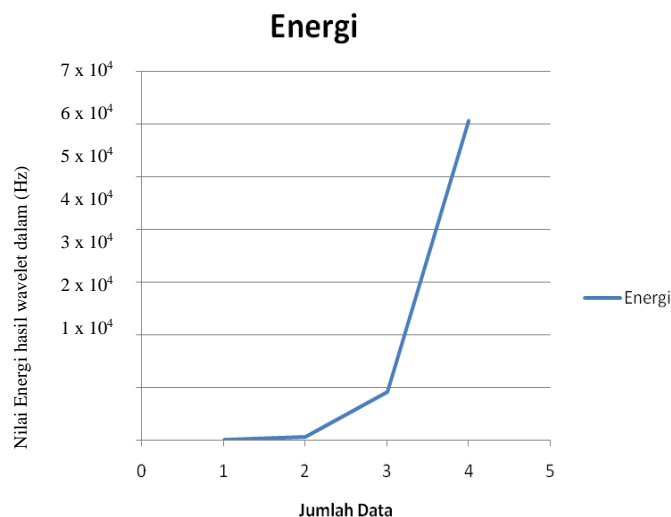
```
%energil
absbanding2=[abs(HFnormal2) abs(HFnormaloks2)];%
nilai absploute sinyal bikin positif
energil=sum(power(absbanding2(:,2),1));
energis1=sum(power(absbanding2(:,2),2));
```


Perintah untuk mendapatkan nilai energi diulang hingga didapatkan nilai energi 9. Semua nilai berada pada domain positif. Untuk mendapatkan nilai PSD perintah yang digunakan adalah

```
psd1=energi1/3586;
psd2=energi2/3586;
psd3=energi3/3586;
psd4=energi4/3586;
psd5=energi5/3586;
psd6=energi6/3586;
psd7=energi7/3586;
psd8=energi8/3586;
psd9=energi9/3586;
```

Nilai 3586 adalah jumlah data yang digunakan untuk menganalisa umur transformator. Nilai PSD dipengaruhi oleh nilai energi dan jumlah data yang digunakan. Semakin banyak data yang digunakan ini berarti nilai pembagi akan semakin besar.

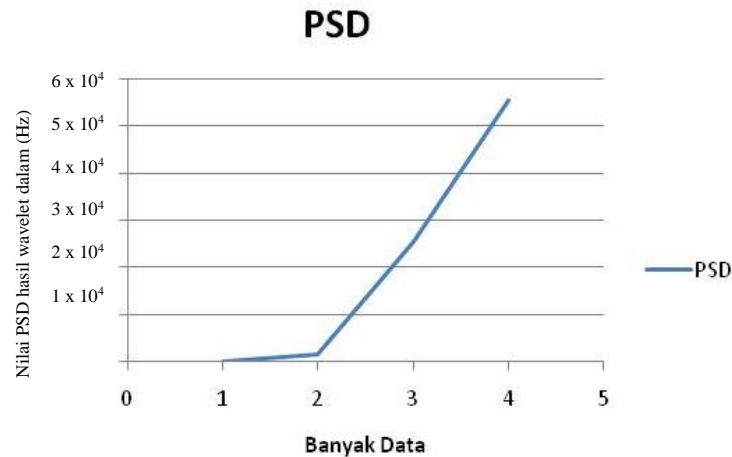
Perintah untuk mendapatkan nilai energi dan PSD digabung menjadi suatu variabel. Penggabungan ini bertujuan untuk mempermudah dalam pengambilan data dari hasil *running* program yang telah dibuat. Jika energi dan PSD digambarkan dalam bentuk grafik, maka grafiknya adalah seperti terlihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Nilai hasil perhitungan wavelet yang berupa energy

Nilai energi pada setiap transformator memiliki nilai yang berbeda – beda. Transformator dengan tahun 0 memiliki nilai sebesar 34837679.6, transformator tahun ke 1 memiliki nilai energi 5704573439.9, transformator tahun ke 2 memiliki nilai energi 91574620843.9 dan terakhir adalah transformator tahun ke 3 memiliki nilai energi sebesar

606808747058.776. Setiap harmonisa dari tiap transformator memiliki nilai energi yang berbeda. Hal ini digunakan untuk mengklasifikasikan umur transformator.



Gambar 4.15 Nilai PSD

Nilai PSD digambarkan pada grafik 4.15, nilai PSD pada setiap umur transformator juga berbeda – beda. Pada transformator umur 0 nilai PSDnya adalah 9714.91344274094, transformator umur 1 nilainya adalah 1590790.13939734, transformator dengan umur 2 tahun nilainya adalah 25536704.0836219 dan transformator dengan umur 3 tahun adalah 55260979.1027041. Nilai PSD pada setiap transformator juga berbeda, nilai – nilai ini juga akan dijadikan inputan untuk mengklasifikasikan umur transformator tersebut.

4.3 PNN

PNN adalah salah satu jaringan buatan yang baik untuk proses klasifikasi. Proses terakhir adalah dengan mengklasifikasikan transformator pada level minyak. Level minyak dibandingkan dengan nilai energi yang telah dihitung. Energi semakin besar berarti bahwa level minyak semakin jelek atau semakin tua. Nilai input pada metode PNN adalah nilai energi dan PSD. Dari nilai energi dan PSD akan diklasifikasikan transformator tersebut.

Input layer adalah perkalian dari nilai yang menjadi input dengan *weight* atau pemberat input. Pemberat input pada metode PNN adalah transpose dari nilai input itu sendiri. Proses ini adalah proses pencarian nilai jarak pada metode PNN. perintah yang digunakan untuk menghitung jarak tersebut adalah

```
jarak = dist(x1,x2);
```

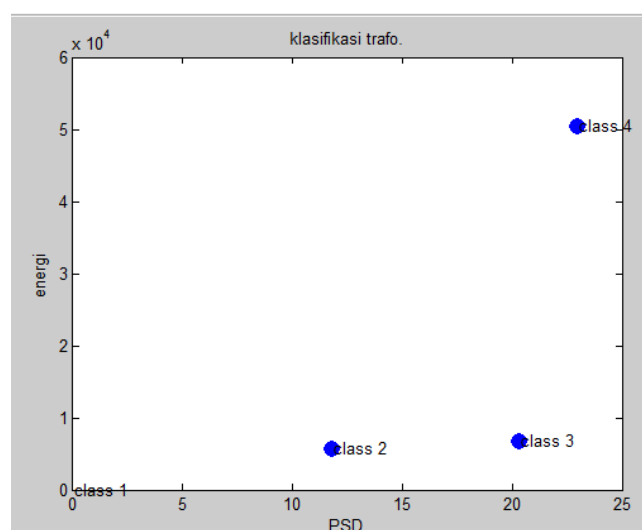
Penghitungan jarak menggunakan metode *euclidean distance*. Setelah didapat nilai jarak, proses selanjutnya adalah menghitung nilai eksponensial dari jarak tersebut. Pada metode PNN penghitungan tersebut adalah proses radbas atau *radial basis*. Perintah yang digunakan adalah dengan memanggil fungsi “radbas” pada matlab. Persamaan matematika radbas adalah “ $a = \exp(-n^2)$ ”. Pada fungsi radbas juga terdapat nilai bias. Nilai bias ini akan mempengaruhi perhitungan dan perramalan dari PNN. persamaan matematika dari nilai bias adalah ini $b = \sqrt{-\ln 0,5} / s$. Pada nilai bias terdapat sebuah konstanta yaitu s, s adalah *spread* atau sebaran. Nilai *spread* bernilai $0 < x \leq 1$.

Layer terakhir adalah layer keluaran. Layer keluaran adalah proses perkalian antarhasil fungsi radbas dengan pemberat pada output. Pemberat pada output akan bernilai 1 hanya pada kelas yang sesuai dengan tujuan dari input pada PNN tersebut. Jika tidak sesuai dengan kelas, maka nilainya adalah 0. Perintah yang digunakan pada layer output adalah

```
k = zeros(m,m);
for i=1:m
    nilai= fix(y2(i,1));k(nilai,i)=1;
end

for s=1:m
    hasil(s,:)=bias1(s,:)*k(:,s);
    hasil2=hasil';
end
```

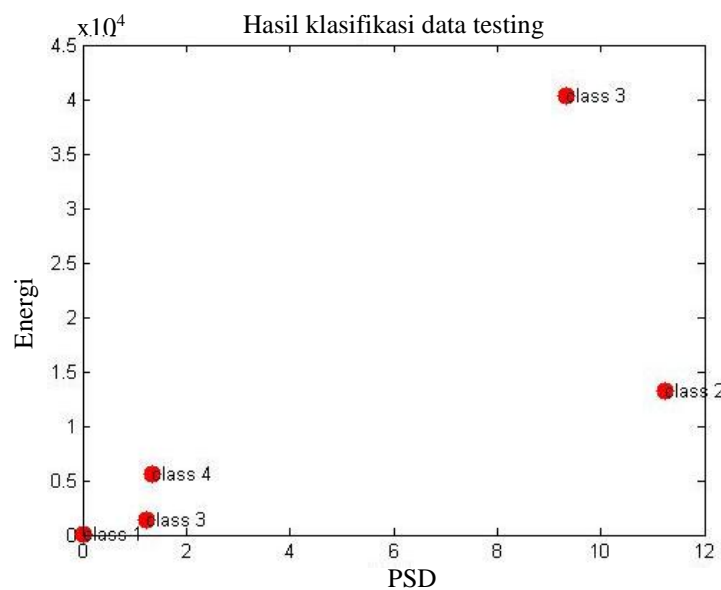
Terakhir, adalah menampilkan hasil dari klasifikasi menggunakan PNN. Hasil klasifikasi dari input energi dan PSD adalah akurat dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Hasil Training Klasifikasi Transformator

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa nilai energi dan PSD dapat digunakan untuk mengklasifikasikan transformator. Klasifikasi ini juga dapat digunakan untuk menentukan umur transformator. Untuk keakuratan data maka dibutuhkan nilai energi dan PSD yang agak banyak. Hal ini dikarenakan semakin banyak data yang digunakan untuk data training, maka semakin baik PNN dapat mengklasifikasikan umur transformator.

Dengan menggunakan lima data transformator berumur 0 tahun satu buah, 1 tahun satu buah, 2 tahun dua buah, 3 tahun satu buah selanjutnya dilakukan testing menghasilkan klasifikasi yang sesuai. Gambar 4.17 menunjukkan hasil dari klasifikasi menjadi beberapa kelas tersebut.



Gambar 4.17 Hasil klasifikasi menggunakan data testing

4.4. Akurasi Data

Pada sub bab ini, peneliti menjelaskan perbandingan antara hasil uji dengan data yang berada di lapangan. Data yang berada di lapangan didapatkan langsung dari PT. PLN Area Mojokerto Rayon Mojokerto. Data yang didapatkan adalah data arus, tegangan, tahun pemasangan transformator dan informasi daya listrik lainnya.

Tabel 4.6 Contoh Data yang dimiliki PT. PLN (Persero) Area Mojokerto Rayon Mojosari

No.	Jenis Transformator	Tahun Penggunaan (tahun)	I nominal (ampere)			Arus rata – rata (ampere)
			R	S	T	
1	Rumah Tangga 1	0	22,64	37,11	41,64	33,8
2	Rumah Tangga 2	0	66	75,4	79,56	73,65
3	Rumah Tangga 3	0	79,25	79,44	122,28	93,66
4	Industri	0	2,35	5,06	2,74	3,38
5	sosial	0	7,32	11,29	4,88	7,83
6	Bisnis	1	62,39	48,2	42,25	50,95
7	Rumah Tangga 1	1	37,8	28,9	29,65	32,12
8	Rumah Tangga 2	1	68,67	21,44	17,12	35,74
9	Rumah Tangga 3	1	23,29	13,55	15,35	17,40
10	Industri	1	37,8	28,9	29,65	32,12
11	Rumah Tangga 1	2	24,3	11,59	7,2	14,36
12	Rumah Tangga 2	2	11,27	25,73	7,7	24,90
13	Rumah Tangga 3	2	139,97	99,63	175,61	138,4
14	Industri 1	2	1,47	5,44	3,69	3,53
15	Industri 2	2	2,28	3,38	1,52	2,39
16	Rumah Tangga 1	3	103,27	57,14	93,51	84,64
17	Rumah Tangga 2	3	84,66	68,81	158,88	104,12
18	Rumah Tangga 1	4	131,21	106,58	174,67	137,49
19	Rumah Tangga 2	4	122,28	100,48	121,5	114,75
20	Rumah Tangga 3	4	150,81	112,18	131,25	131,41
21	Rumah Tangga 4	4	130	102,22	135,53	122,58
22	Rumah Tangga 5	4	164,91	135,95	132,01	144,29
23	Rumah Tangga 6	4	177,76	107,17	112,04	131,32
24	Rumah Tangga 7	4	113,3	130,91	148,05	130,75

Data tahun penggunaan transformator didapatkan dari data yang terdapat pada PT. PLN (Persero) Area Mojokerto Rayon Mojosari. Berdasarkan data penggunaan transformator dicatat dari waktu pemasangan transformator. Waktu pemasangan transformator di Rayon

Mojosari, bisa berbeda dengan waktu produksi dari transformator tersebut. Hal ini dikarenakan tidak semua transformator yang terpasang di Rayon Mojosari adalah transformator baru yang keluar dari pabrik. Transformator yang baru keluar dari pabrik, ada kemungkinan disimpan dalam gudang terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan pada saat transformator baru diproduksi dari pabrik, di lapangan belum ada masalah yang besar pada transformator. Dengan kata lain, belum ada transformator yang rusak secara total. Oleh karena itu, transformator baru disimpan terlebih dahulu dalam gudang. Selain itu, data transformator yang terpasang di area Mojokerto tidak terdata dengan baik. Hal ini dikarenakan waktu operasi yang agak membingungkan. Misalnya, terdapat transformator yang telah terpasang selama 10 bulan, hal ini tercatat untuk waktu pemasangan adalah 0 tahun, namun data ini tidak berbeda jauh dengan transformator yang telah terpasang selama 13 bulan atau 1 tahun 1 bulan. Pada saat penyimpanan transformator baru tersebut, tempat penyimpanan adalah diruang terbuka dan sinar matahari langsung menyinari transformator baru. Transformator tersebut akan disimpan dalam gudang yang dimiliki oleh PLN selama waktu tertentu, sampai terdapat kerusakan transformator pada suatu gardu distribusi. Oleh karena itu, salah satu kekurangan dari pengambilan data lapangan pada transformator ini adalah tahun kegunaan dari transformator itu sendiri. Hal ini akan sangat berpengaruh dalam perhitungan untuk penentuan kelas dari sebuah transformator.

Tabel 4.7 Perbandingan hasil program dan data lapangan

Jenis Transformator	Beban Transformator (Ampere)	Data Lapangan (tahun)	Hasil Klasifikasi (tahun)	Error
Industri	1,37	3	4	False (selisih 1 tahun)
Rumah Tangga 1	50,50	0	0	True
Rumah Tangga 2	46,22	1	1	True
Rumah Tangga 3	44,16	2	3	False (selisih 1 tahun)
Rumah Tangga 4	47,58	4	4	True

Berdasarkan hasil klasifikasi dari data testing, transformator yang sesuai dengan kelasnya adalah 3 transformator. Dua transformator berbeda dengan data dari PT. PLN (Persero). Ketidak akuratan ini dapat disebabkan beberapa faktor. Pertama, perekaman data yang dilakukan oleh PT. PLN Area Mojokerto, Rayon Mojosari tidak dilakukan dengan benar. Kedua diindikasikan terjadi reaksi kimia pada minyak transformator pada saat berada di gudang penyimpanan. Karena penyimpanan transformator bisa terjadi dalam jangka waktu yang cukup lama. Transformator tidak akan dipakai jika tidak terdapat gangguan parah pada jaringan distribusi dan perlu penggantian transformator.

Nilai |Error| yang tertera pada tabel 4.7 dihitung dengan menggunakan selisih umur antara data hasil klasifikasi dengan data lapangan yang dimiliki oleh PT. PLN. Jika pada jenis transformator industri hasilnya adalah false, artinya ada selisih. Pada jenis transformator industri, seharusnya hasil klasifikasi menunjukkan bahwa transformator ini adalah berumur 3 tahun. Berikut juga data pada transformator rumah tangga 3, dari hasil klasifikasi dan data lapangan terdapat perbedaan sebesar 1 tahun, maka hasil dari klasifikasi program ini adalah false karena seharusnya hasil klasifikasi menunjukkan bahwa transformator rumah tangga 3 adalah berumur 2 tahun. Jika dibandingkan dalam jumlah persen maka dari 5 data yang dijadikan sebagai data testing, hasilnya adalah 3 data menunjukkan klasifikasi benar (*true*) dan dua data menghasilkan klasifikasi salah (*false*). Tingkat akurasi dihitung berdasarkan dari jumlah data benar yang merupakan pengurangan antara jumlah umur data lapangan dikurangi jumlah |Error| dibandingkan dengan jumlah umur data lapangan sehingga tingkat akurasi adalah sebesar $\frac{10-2}{10} \times 100\% = 80\%$ benar. Merujuk hasil ini maka tingkat keakuratan dari klasifikasi ini adalah sebesar 80% benar dan 20% salah.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian yang telah dilakukan ini, identifikasi dari hasil simulasi dapat digunakan untuk mengklasifikasikan umur transformator berdasarkan nilai energi dan PSD yang didapat dari hasil transformasi Wavelet. Keakuratan data untuk mengklasifikasikan kelas adalah hal yang sangat penting. Dari penelitian yang dilakukan hasil dari keakuratan klasifikasi menggunakan PNN adalah sebesar 80%. Error yang terjadi masih cukup besar hal ini dikarenakan data pembanding dan data yang digunakan untuk percobaan sangat terbatas. Transformator yang digunakan adalah sebanyak 35 buah transformator, sebanyak 30 buah transformator digunakan sebagai data training dan 5 transformator digunakan sebagai data testing.

Hasil dari penelitian ini juga dapat dijadikan referensi bagi PT. PLN (Persero) untuk mengidentifikasi dengan mudah dan cepat gejala kerusakan minyak transformator tanpa harus menguji minyak secara laboratorium. Metode deteksi ini mampu mengidentifikasi kerusakan minyak transformator lebih akurat dan aman dibandingkan dengan cara-cara konvensional yang selama ini dilakukan PT PLN (Persero).

Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan.

1. Nilai arus yang diukur pada bagian dari sekunder transformator mengandung *noise* yang berupa harmonisa.
2. Semakin lama minyak atau semakin tua suatu transformator nilai *noise* akan semakin tinggi. Metode *wavelet* dapat digunakan untuk memisahkan sinyal yang terdiri dari *noise* dan sinyal fundamental.
3. Metode PNN dapat digunakan untuk pengklasifikasian kelas dari masing – masing transformator berdasarkan nilai energi dan PSD yang didapat dari hasil transformasi Wavelete.

5.2 Penelitian Berikutnya

Untuk penelitian berikutnya, berikut ini adalah saran dan masukan yang dapat dilaksanakan.

1. Pengambilan data transformator lebih bervariasi dari 100 kVA, 200 kVA dan 250 kVA.
2. Pengambilan tidak hanya berdasarkan kapasitas transformator, tapi juga berdasarkan umur transformator yang bervariasi.
3. Beban pada transformator dapat lebih bervariasi, sehingga dapat diketahui dari karakteristik transformator yang sedang diambil datanya.
4. Semakin banyak data akan semakin akurat pengklasifikasian transformator karena semakin banyak referensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Liapis, I.; Danikas, M.G., “A study of parameters affecting the ageing of transformer oil in distribution transformers”, *IEEE International Conference on Dielectric Liquids (ICDL)*, June 2011, pp. 1 – 4.
- [2] Butler-Purry, K.L.; Bagriyanik, M.; Mousavi, M.J.; Palmer-Buckle, P., “Experimental investigation of internal short circuit faults leading to advanced incipient behavior and failure of a distribution transformer”, *IEEE Power System Conference and Exposition*, vol. 3, Oct 2004, pp. 1407 – 1416.
- [3] Wang, H.; Butler, K.L., “Neural network modeling of distribution transformer with internal short circuit winding faults”, *IEEE Power Engineering Society International Conference on Power Industry Computer Applications (PICA)*, May 2001, pp. 122 – 127.
- [4] Gaing, Zhe-Le; Huang, Hou-Sheng, “Wavelet-based neural network for power disturbance classification”,
- [5] Butler, K.L.; Kuforiji, Adedayo, “Experimental results from short-circuit faults on a distribution transformer”,
- [6] Y. Zhang, X. Ding, Y. Liu, P. J. Griffin, “An artificial neural network approach to transformer fault diagnostic”, *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 11, No. 4, Oct 1996, pp. 1836 – 1841
- [7] Carlos Wiyono Kurniawan, “Analisis dan perancangan program aplikasi peramalan curah Hujan dengan metode wavelet (studi kasus bmg)”, Skripsi, Universitas bina nusantara, Januari 2007, Jakarta.
- [8] Burrus, C. Sidney, Gopinath, Ramesh A., Guo, Haitao. (1998). *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms: A Primer*. Prentice-Hall, New Jersey.

BIOGRAFI PENULIS



Wisnu Kuntjoro Adi, anak kedua dari lima bersaudara lahir di Surakarta 22 Januari 1973. Merupakan anak kedua pasangan Bapak R Agus Sumunar (Alm) dan Ibu Yayuk Sri Rahayu. Sudah menikah sejak 1997 dengan T Haryani dikaruniai tiga putri yaitu Nadhifa Nur Hamidah, Nabila Nur Haliza dan Aisyah Nur Madina. Sekolah dasar dijalani di Wonogiri di SDN 03 Wonogiri, sekolah menengah pertama di SMPN 03 Wonogiri dan sekolah menengah atas di SMAN 01 Wonogiri. Tamatan D3 di Politeknik Universitas Diponegoro lulus tahun 1994. Kuliah Strata 1 di Kota Malang di Universitas Wisnuwardhana Malang lulus tahun 2006 selanjutnya tahun 2011 mengikuti program beasiswa PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur melanjutkan kuliah S2 di Teknik Elektro ITS. Sejak tahun 1995 menjadi pegawai PT. PLN (Persero) dan sekarang menjabat sebagai Manager Perencanaan di PT. PLN (Persero) Unit Induk Pembangunan Kalimantan Bagian Timur berkantor di Balikpapan Propinsi Kalimantan Timur. Dapat dihubungi melalui email : wisnukuntjoro@pln.co.id atau wisnukuntjoroadi@yahoo.com.